



รายงานการวิจัย

ผลของการกำจัดยางเหนียวต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ
Effect of degumming process on the biodiesel production
from crude palm oil

บุญเรือน สรรเพชร
เพ็ญศรี เพ็ญประไพ

Boonruen Sunpetch
Pensri Penprapai

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “ผลของการกำจัดยางเหนียวต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ (Effect of degumming process on the biodiesel production from crude palm oil)” นี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2560 การวิจัยในเรื่องดังกล่าวเป็นการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากน้ำมันปาล์มดิบซึ่งมีสารประเภทฟอสโฟลิปิดปนเปื้อนอยู่เพื่อใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นสารโพลีเอสเตอร์ต่อไป โดยเริ่มจากการศึกษาปริมาณยางเหนียวที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์น้ำมันปาล์มดิบจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลายโรง ได้แก่ โรงงานกาญจนดิษฐ์น้ำมันปาล์ม จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี โรงงานปาล์มดีศรีนคร จำกัด จังหวัดนครศรีธรรมราช โรงงาน บริษัท พัทธภัณฑ์ปาล์มออยล์ จำกัด จังหวัดตรัง โรงงานบริษัท ไทยอินโดปาล์มออยล์ แพคทอรี จำกัด และ ชุมชุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ จำกัด จังหวัดกระบี่ ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันปาล์มดิบของทางโรงงานตลอดการวิจัยในหัวข้อนี้ น้ำมันดังกล่าวได้ถูกนำมาวิเคราะห์ ทดสอบการกำจัดยางเหนียว และนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวไปผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันหรือไบโอดีเซล โดยในการศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์การวิจัยหลายรายการจากสาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เจ้าหน้าที่ของคณะและผู้ช่วยนักวิจัยทุกคน สุดท้ายขอขอบคุณทุกคนทุกฝ่ายที่ได้มีส่วนร่วมทั้งทางตรงและทางอ้อมในการทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ลงได้ หากมีความบกพร่องประการใดผู้วิจัยยินดีรับฟังและทำการปรับปรุงให้ดีขึ้นในอนาคตต่อไป

บุญเรือน สรรเพชร

เพ็ญศรี เพ็ญประไพ

กันยายน 2561

ผลของการกำจัดยางเหนียวต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

บุญเรือน สรรเพชร และ เพ็ญศรี เพ็ญประไพ

บทคัดย่อ

น้ำมันพืชจะมีสารที่ไม่ใช่ไขมันปนเปื้อนอยู่ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออกเป็นขั้นตอนแรกก่อนนำน้ำมันพืชไปใช้ในการทำบริสุทธิ์และแปรรูปต่อไป โดยสารปนเปื้อนที่สำคัญในน้ำมันปาล์มดิบได้แก่สารประกอบฟอสฟอไลด์ซึ่งสามารถระบุปริมาณได้ในรูปของปริมาณของธาตุฟอสฟอรัส (P) สารประกอบฟอสฟอไลด์สามารถกำจัดออกได้โดยการบำบัดด้วยกรดฟอสฟอริก ซึ่งนอกจากกรดฟอสฟอริกจะสามารถกำจัดสารประกอบฟอสฟอไลด์ออกจากน้ำมันปาล์มดิบแล้วยังทำให้พอร์ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำมันสูงขึ้นด้วย จึงต้องมีการเลือกใช้ฟอสฟอริกในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้การกำจัดฟอสฟอไลด์มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือหาปริมาณฟอสฟอริกที่เหมาะสมในการกำจัดยางเหนียวออกจากน้ำมันปาล์มดิบ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสด้วยวิธีมาตรฐานวัดค่าด้วยเครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโตรมิทรีพบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่นำมาศึกษามีปริมาณฟอสฟอรัส 79.1 ppm เมื่อผสมน้ำมันดิบดังกล่าวกับกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 1%wt ที่อุณหภูมิ 50-100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยพบว่าจะลดปริมาณลงกว่าร้อยละ 60 เมื่อทำการผสมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อทำการศึกษผลของปริมาณกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ต่ำสุดที่ 0.75 %wt ซึ่งการใช้กรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่าดังกล่าวทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบกลับสูงขึ้นตามความเข้มข้น นอกจากนี้การใช้เวลาในการผสมเกิน 15 นาที ก็พบลักษณะการเพิ่มขึ้นของฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบควรใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.75 %wt อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและยังไม่กำจัดยางเหนียวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลชนิดเมทิลเอสด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันด้วยตัวเร่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการกำจัดยางเหนียวจะได้ส่วนผสมเป็นเจลแข็งๆ ไม่สามารถแยกเป็นไบโอดีเซลได้ ส่วนการนำน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวแล้วมาผลิตไบโอดีเซลพบว่าเมื่อปริมาณยางเหนียวลดลงจะได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น การใช้น้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสามารถผลิตไบโอดีเซลได้ดีที่สุด โดยพบว่าภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษานั้นมีปริมาณผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสูงกว่าร้อยละ 95

คำสำคัญ

ฟอสฟอไลด์ การกำจัดยางเหนียว ไบโอดีเซล น้ำมันปาล์มดิบ

Effect of degumming process on the biodiesel production from crude palm oil

Boonruen Sunpetch and Pensri Penprapai

Abstract

Non-triglyceride contaminant in vegetable oil is the big problem in oil refining process, they have to remove from the crude oil in the first step. Phospholipid, the key contaminant in crude palm oil (CPO), can be determined in terms of phosphorus (P) content and usually treated with phosphoric acid. Even though the phosphoric acid is get rid phospholipid in CPO but also increased the P in palm oil. However, the optimal concentration of phosphoric in oil degumming process is still unknown. The objective of this work is to elucidate the effect of phosphoric acid concentration in CPO preparation. P content of 79.1 ppm was found in crude palm oil with UV-Vis spectrometry. The amount of content changed in the mixture of 1%wt phosphoric acid in CPO for 30 minutes at the temperature range of 50-100°C. At the optimized temperature of 80°C, P content decreased by over 60%. The effect of acid concentration was then studied in the 15-minute treatment at 80°C. It was found that the higher the concentration of phosphoric acid was used, the lower P content in CPO became. However, the P content increased when treated with the concentration higher than 0.75%wt. The higher level of content was also found when the mixing took longer than 15 minutes. The optimum condition for CPO degumming is mixing with 0.75% wt phosphoric acid for 15 minutes at 80°C. This results is point out that, using higher phosphoric concentration in CPO degumming process will increase the P content in palm oil product.

Degummed and non-degummed CPO were used as raw materials for biodiesel production using transesterification with NaOH catalyst at 80°C. The product mixture of non-degummed CPO was look like solid gel and cannot separate the methyl ester from this mixture. The concentration of methyl ester production using degummed CPO methyl ester depend on the degree of phosphorus content. The methyl ester yield higher than 95% when using CPO that degumming by optimal condition.

Keyword

Catalyst, Activated Carbon, Biodiesel, Crude palm oil

สารบัญเรื่อง

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ทฤษฎี และแนวคิดของงานวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มดิบ	4
2.2 การกำจัดยางเหนียว	7
2.3 ไบโอดีเซล	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.2 สารเคมี	18
3.3 วิธีการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	29
4.1 การกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบ	29
4.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	48
เอกสารอ้างอิง (Reference)	50
ภาคผนวก	54

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	ปริมาณยางเหนียวและวิธีการกำจัดในการศึกษาน้ำมันพืชชนิดต่างๆ	8
2-2	เปรียบเทียบข้อกำหนดสมบัติของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน EU and US	16
4-1	การทดสอบผลการกำจัดยางเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับน้ำร้อน	40
4-2	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ	42
4-3	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ แล้วตามด้วยน้ำร้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	43
4-4	ผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวแตกต่างกัน	46



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2-1	11
2-2	11
3-1	20
3-2	23
4-1	40
4-2	30
4-3	31
4-4	31
4-5	32
4-6	32
4-7	33
4-8	34
4-9	35
4-10	35
4-11	36
4-12	37
4-13	37
4-14	38

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4-15	การกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบแบบ 2 ขั้นตอน (ก-ข) กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1 %wt 15 นาที (ค-ง) กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที (จ-ฉ) กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ (ซ-ช) กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที	41
4-16	ลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1 %wt 15 นาที, น้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที, กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที ตามลำดับ	42
4-17	น้ำมันปาล์มดิบที่ยังไม่ผ่านการกำจัดยางเหนียวไม่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรง	44
4-18	การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว	45
4-19	ลักษณะของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วย (ก) น้ำ 1 %wt 15 นาที (ข) น้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที (ค) กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ (ง) กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที	46
4-20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางเหนียวในน้ำมันดิบกับปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้	47

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

สัญลักษณ์	ความหมาย
BET	Brunauer Emmett and Teller isotherm
cSt/s	Kinematic viscosity unit in centistoke per second
cP	Dynamic viscosity unit in centipoise
°C	degree centigrade
CaCO ₃	Calcium carbonate
CaCO	Calcium oxide
DI	Deionized
%FFA	Free Fatty Acid Content
FAMEs	Fatty Acid Methyl Esters, biodiesel
FID	Flame Ionization Detector
GC	Gas Chromatographer
N	Concentration unit in normality
XRD	X-ray Diffraction Pattern
%yield	interesting product amount from raw material

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีการปลดปล่อยสารมลพิษและก๊าซเรือนกระจก (green house gas) น้อยกว่าเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมและถูกย่อยสลายได้ในธรรมชาติจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไบโอดีเซลจัดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีศักยภาพสูงในการใช้เป็นพลังงานทดแทน ไบโอดีเซลในความหมายทั่วไปหมายถึง สารประกอบอัลคิลเอสเทอร์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ กรดไขมันที่ใช้เป็นวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นไขมันและน้ำมันจากพืช เช่น เรพ สบู่ดำ ปาล์ม น้ำมันมะพร้าว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ทานตะวัน เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถผลิตได้จากไขมันสัตว์ สหรัย และน้ำมันใช้แล้ว ได้อีกด้วย น้ำมันปาล์มจัดเป็นวัตถุดิบศักยภาพสูงสำหรับผลิตไบโอดีเซลที่ได้จากพืช เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงที่สุด โดยประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้มากเป็นอันดับสามของโลกรองจากมาเลเซียและอินโดเนเซีย และกำลังขยายพื้นที่เพาะปลูกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีความสามารถในการผลิตและใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม แต่พบว่าการนำไบโอดีเซลมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียมในประเทศไทยยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ซึ่งมีสาเหตุที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ คุณภาพและราคาของไบโอดีเซลยังไม่เป็นที่ยอมรับในท้องตลาด การผลิตไบโอดีเซลให้มีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้งานโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำจึงยังเป็นประเด็นที่ต้องทำการวิจัยและพัฒนา ซึ่งทั้งราคาและคุณภาพของไบโอดีเซลจะแปรผันตามราคาและคุณภาพของวัตถุดิบรวมถึงเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการผลิต การนำน้ำมันที่มีความบริสุทธิ์สูงมาใช้เป็นวัตถุดิบจะช่วยให้สามารถผลิตไบโอดีเซลที่มีคุณภาพสูงโดยใช้วิธีการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก แต่มักจะทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีราคาแพงตามราคาวัตถุดิบ ส่วนการใช้วัตถุดิบคุณภาพต่ำซึ่งมีราคาถูกกลับต้องการเทคโนโลยีในการผลิตที่สูงจึงทำให้ราคาของไบโอดีเซลสูงขึ้นเช่นกัน เพื่อไม่ให้ราคาวัตถุดิบสูงเกินไปในการวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงการนำน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) ที่ยังไม่ผ่านการบวกรับปรุงคุณภาพมาเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้ผลิตไบโอดีเซลนั้นยังมีปัญหาเช่นเดียวกับน้ำมันดิบทั่วไปคือการมียางเหนียวปนเปื้อนทำให้ไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลคุณภาพดีได้ นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มดิบมักจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง ทำให้การผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันกับแอลกอฮอล์โดยใช้สารละลายเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยามีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง และต้องใช้ระยะเวลาานานมากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น สำหรับกระบวนการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นก่อนนำน้ำมันดิบมาใช้ประโยชน์นั้นยังไม่มีข้อมูลที่แสดงถึงความรู้ความเข้าใจและพบว่ามี การรายงานผลการศึกษาอยู่น้อยมาก ซึ่งผลงานที่ตีพิมพ์เผยแพร่ส่วนใหญ่จะเน้นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีต้นทุนสูง เช่น การใช้เอนไซม์หรือการกรองประสิทธิภาพสูง ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเตรียมน้ำมันบริสุทธิ์แต่อาจไม่คุ้มค่าในการใช้เพื่อเตรียมเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของวิธีการกำจัดยางเหนียวแบบที่ทำได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ได้แก่ การกำจัดยางเหนียวโดยใช้น้ำร้อนและการกำจัดโดยใช้สารละลายกรด

ฟอสฟอริก เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการนำไปปรับใช้กับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบในระดับครัวเรือนหรือระดับชุมชนต่อไป

1.2 ทฤษฎี และแนวคิดของงานวิจัย

แม้ปัจจุบันราคาเชื้อเพลิงดีเซลจะลดต่ำลงมากแต่เรายังต้องการแหล่งพลังงานทดแทนที่เหมาะสมสำหรับการหมักของปิโตรเลียมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต น้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งวัสดุหมุนเวียนที่มีปริมาณมากและราคาไม่สูงจึงสามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซลได้ แต่ในน้ำมันปาล์มดิบมักมีกรดไขมันอิสระสูงและมียางเหนียวเป็นส่วนประกอบสำคัญที่รบกวนการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันและการแยกผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิต ทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล จึงจำเป็นต้องทำการกำจัดยางเหนียวที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบก่อนที่จะนำมาใช้ผลิตไบโอดีเซลต่อไป การกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันพีชทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน การใช้สารละลายกรด การกรองประสิทธิภาพสูง และการใช้เอนไซม์ เป็นต้น แต่การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซลนั้นต้องการวิธีการที่ต้นทุนต่ำ ทำได้ง่าย เพื่อให้เป็นเทคโนโลยีที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายสำหรับชุมชนรากหญ้า ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการทดสอบผลของการกำจัดยางเหนียวด้วยเทคโนโลยีที่สามารถทำได้ง่ายไม่ต้องใช้เครื่องมือและสารเคมีที่ยุ่งยาก ได้แก่ การกำจัดยางเหนียวโดยใช้น้ำร้อน และการกำจัดยางเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริก เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่เป็นประโยชน์และสามารถนำมาใช้ได้ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบปริมาณไม่มากได้ การศึกษานี้จะทำให้ได้แนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาสถานะและผลของการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้น้ำร้อนและใช้กรดฟอสฟอริกต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

องค์ความรู้ที่จะเกิดขึ้นนี้จะช่วยให้สามารถนำเอาน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นผลผลิตจากภาคการเกษตรมาใช้เป็นประโยชน์ได้โดยตรง ช่วยสร้างความเสถียรให้กับราคาปาล์มน้ำมัน องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ ตีพิมพ์ในวารสารทั้งในและต่างประเทศนำไปสู่การจดสิทธิบัตร องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นนี้จะช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบ เกิดความเข้าใจผลของยางเหนียวต่อการผลิตไบโอดีเซล ช่วยให้เกษตรกรหรือชุมชนสามารถนำเอาน้ำมันปาล์มดิบซึ่งเป็นผลผลิตจากภาคการเกษตรมาใช้ประโยชน์เป็นน้ำเชื้อเพลิงได้โดยตรง ช่วยสร้างความเสถียรให้กับราคาปาล์มน้ำมัน

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาผลของการกำจัดยางเหนียวโดยใช้สารละลายกรดฟอสฟอริก โดยทดสอบผลของความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.0-2.0 โดยน้ำหนัก โดยใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 10 ถึง 60 นาที ต่อความสามารถในการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบ โดยทดสอบสมบัติพื้นฐานที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ ปริมาณยางเหนียว

ความเป็นกรด และความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบ เปรียบเทียบกับผลของการกำจัดยางเหนียวโดยใช้น้ำร้อน เข้มข้นร้อยละ 0.0-5.0 โดยน้ำหนัก ด้วยระยะเวลา 10-180 นาที ภายใต้อุณหภูมิ 50-90 องศาเซลเซียส ทำการตรวจสอบสมบัติพื้นฐานเช่นเดียวกับกรณีกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านและผ่านการกำจัดยางเหนียวด้วยวิธีการต่างๆ มาทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยการทำปฏิกิริยากับเมทานอลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปรียบเทียบผลการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน โดยเปรียบเทียบ ปริมาณผลผลิต และสมบัติของเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ เช่น ความบริสุทธิ์ ค่าความเป็นกรด ความหนืด จุดวาบไฟ เพื่อชี้แนวทางที่เหมาะสมในการกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลต่อไป



บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มดิบ

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มในประเทศไทยเริ่มเกิดขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2522 โดยเริ่มปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ 155,000 ไร่ และมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกอย่างต่อเนื่อง (สุคาร์ตัน, 2541) โดยในปี 2557 ไทยมีเนื้อที่เพาะปลูก 4.15 ล้านไร่ มีผลผลิต 13.33 ล้านตัน และคาดว่าจะมีผลผลิตเพิ่มเป็น 13.64 ล้านตัน ในปี 2558 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) โดยปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันต่อพื้นที่เพาะปลูกสูงสุดและในปี 2548 สามารถผลิตน้ำมันได้เป็น 33% จากพืชน้ำมันทั้งหมดทั่วโลก (Tim S., 2006) โดยกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกาคาดการณ์ว่าจะมีผลผลิตน้ำมันปาล์มในปี 2558 ประมาณ 63.29 ล้านตัน

เราสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้ 17-20% ของน้ำหนักปาล์มทะเลสด ประเทศไทยสามารถผลิตน้ำมันปาล์มดิบได้มากถึง 13.33 ล้านตัน ในปี 2557 โดยน้ำมันดิบส่วนใหญ่จะถูกส่งไปกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์แล้วนำไปใช้เป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมเพื่อการบริโภคในรูปของน้ำมันพืช อุตสาหกรรมสบู่ อุตสาหกรรมของว่างและขนมขบเคี้ยว อุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป อุตสาหกรรมนมข้นหวานและนมจืด อุตสาหกรรมครีมเทียม อุตสาหกรรมเนยขาวและเนยเทียม รวมถึงอุตสาหกรรมอุปโภค อื่นๆ เช่น พลาสติก เครื่องสำอาง น้ำมันหล่อลื่น และยางรถยนต์ เป็นต้น โดยการผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ถูกบริโภคในรูปของน้ำมันพืช คิดเป็นร้อยละ 58.6 ของปริมาณน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ทั้งหมด ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 42.4 จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ทั้งนี้การบริโภคภายในประเทศจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 ต่อปี พบว่าในปี 2557 ประเทศไทยมีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อการบริโภค 934,045 ตัน และมีความต้องการใช้น้ำมันปาล์มเพื่อผลิตไบโอดีเซล 833,542 ตัน นอกจากนี้มีการส่งออกในรูปของน้ำมันปาล์มและผลิตภัณฑ์ 371,396 ตัน

น้ำมันปาล์มมี 2 แบบ คือ ส่วนที่สกัดได้จากส่วนของเนื้อผลปาล์ม (Crude palm oil, CPO) ซึ่งนิยมใช้สำหรับบริโภคและส่วนที่สกัดได้จากเนื้อในกะลาปาล์ม (Calm kernel oil, PKO) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมสบู่เป็นหลัก น้ำมันปาล์มดิบจะมีองค์ประกอบเป็นไขมันอิ่มตัวประมาณ 50% ทำให้มีลักษณะกึ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง และมีสีแดงส้มเนื่องจากมีสารแคโรทีนเป็นองค์ประกอบด้วย ในน้ำมันปาล์มมีการดปาล์มมาติก (เป็นส่วนประกอบในร่างกายมนุษย์) ประมาณ 45%, กรดโอเลอิก (Monounsaturated oleic acid) ประมาณ 40%, กรดลิโนเลอิก (Polyunsaturated linoleic acid), กรดไขมันจำเป็น (An essential fatty acid) ประมาณ 10% และ กรดสเตียริก ประมาณ 5% นอกจากนี้ในน้ำมันปาล์มดิบยังมีสารประกอบฟีนอลิก แคโรทีนอยด์ วิตามินอี และ โทโคไตรอีนอลส์ ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง และทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและทนความร้อนได้ดี และสามารถสกัดสารเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง พลาสติก ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าได้อีกหลากหลาย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2547; Dune and Knot, 2011) น้ำมันปาล์มจึงเป็นน้ำมันที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการทอด จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีคุณสมบัติดีและราคาไม่แพง (Sumathi, et al., 2008)

ปาล์มน้ำมันจัดว่าเป็นพืชที่สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิดและถือว่าน้ำมันปาล์มเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับโพลิโอเคมี ราคาของสารโพลิโอเคมีปรับสูงขึ้นตั้งแต่กลางปี 2553 โดยเฉพาะ C12 ของกรดลอริกและเสตีริก ที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ส่งผลให้ราคาปาล์มดิบปรับตัวสูงขึ้น (ICIS Chemical Business, 2010)

น้ำมันปาล์มสามารถผลิตผ่าน 2 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม (Mill Processing) มี 2 แบบคือ แบบที่บีบน้ำมันแยกระหว่างน้ำมันจากผลปาล์มกับน้ำมันเมล็ดในได้น้ำมันเกรดสูง และแบบที่บีบน้ำมันผสมได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน จะมีกระบวนการผลิต 4 ขั้นตอน คือ

1.1 การอบทะลายด้วยไอน้ำ (Sterilization) อบที่อุณหภูมิ 130 - 135 องศาเซลเซียส ความดัน 2.5 - 3 bars นาน 50 - 75 นาที การอบทะลายทำให้ผลปาล์มอ่อนนุ่มหลุดจากผลขั้วได้ง่าย และเป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาไลโปไลซิส ที่ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระในผลปาล์ม

1.2 การแยกผล (Stripping) เป็นการส่งทะลายเข้าเครื่องแยกผลปาล์มออกจากทะลาย ส่วนทะลายเปล่าจะถูกแยกออก นำส่วนผลปาล์มไปย่อยด้วยเครื่องย่อยเพื่อให้ส่วนเปลือกแยกออกจากเมล็ด

1.3 การสกัดน้ำมัน (Oil extraction) นำส่วนเปลือกอบที่อุณหภูมิ 90 - 100 องศาเซลเซียส นาน 20 - 30 นาที แล้วผ่านเข้าเครื่องแบบเกลียววัดคู่ จะได้น้ำมันปาล์มดิบที่มีองค์ประกอบของน้ำมัน 66 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 24 เปอร์เซ็นต์ และของแข็ง 10 เปอร์เซ็นต์

1.4 การทำความสะอาดน้ำมันปาล์มดิบ (Clarification) นำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากการสกัดส่งเข้าถังกรองเพื่อแยกน้ำและของแข็งออก จากนั้นนำเข้าเครื่องเหียงเพื่อทำความสะอาดอีกครั้งและไล่น้ำออกเพื่อให้แห้ง ส่งเข้าถังเก็บน้ำมันสำหรับรอกการกลั่นหรือจำหน่ายต่อไป

น้ำมันปาล์มดิบที่ได้มี 2 ส่วนผสมกันคือ ส่วนบนมีลักษณะเป็นของเหลวสีส้มแดง (crude palm oil olein) ประมาณ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขสีเหลืองส้ม (crude palm oil stearin) ประมาณ 50 - 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นกากผลปาล์มจะถูกนำไปแยกเส้นใยออกจากเมล็ด นำเมล็ดที่ได้ไปอบแห้งและทำความสะอาด แล้วนำเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกกะลาออก นำเมล็ดในไปอบแห้งให้มีความชื้นไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นบรรจุกระสอบเพื่อรอจำหน่ายหรือบีบน้ำมันต่อไป โดยในน้ำมันปาล์มดิบจะมีปริมาณยางเหนียวต่ำกว่า 1% และมีรายงานถึงปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณฟอสโพลิปิดของน้ำมันปาล์มดิบว่ามี ประมาณ 10 ppm (Zulkurnain et al., 2012)

น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ กรดไขมันอิสระประมาณ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ และ องค์ประกอบอื่นๆ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบที่สำคัญ คือ ปริมาณกรดไขมันอิสระ น้ำมันคุณภาพดีต้องมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ

2.กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine Processing) เป็นกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ พร้อมสำหรับการอุปโภคและบริโภค โดยการนำน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วมาเข้ากระบวนการทางกายภาพแล้วเริ่มทำการกำจัดยาง ฟอกสีแล้วจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นเพื่อกำจัดกลิ่น และกรดไขมันอิสระซึ่งจะได้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นำน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ที่ผ่านในขั้นตอนแรกมาสู่กระบวนการตกผลึก ทำให้เกิดผลึกสีขาวขุ่น คือ น้ำมันปาล์มสเตียรีน และ น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ยังคงสภาพเหลว ไส แล้วนำไปผ่านเครื่องกรองเพื่อแยกน้ำมันทั้ง 2 ส่วนออกจากกัน ซึ่งกระบวนการกลั่นแบ่งเป็น 2 วิธี ดังนี้

2.1 วิธีทางกายภาพ (Physical or Steam refining) เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อนแล้วกลั่นแยกกรดไขมันอิสระและสารที่หนักเกินไปให้ระเหยออกไปพร้อม ๆ กันทำได้โดยเตรียมน้ำมันปาล์มดิบหรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด (ยางเหนียว) โดยกำจัดออกด้วยน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาคู่กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 80 – 85 % ประมาณ 0.05 – 0.2 % ของน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 – 100°C นาน 15 – 30 นาที จากนั้นเติมผงฟอกสี (Bleaching earth) ประมาณ 0.8 – 2.0 % ของน้ำมันปาล์มดิบ และฟอกสีภายใต้สภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิ 95–100°C นาน 30–45 นาที แล้วนำน้ำมันปาล์มผ่านเข้าเครื่องกรองจะได้น้ำมันที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด และทำการกลั่นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำมัน 240 – 270 °C นาน 1 - 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาพสุญญากาศ จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil, RBD PO) หรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ (Refined Bleached and Deodorized Palm Kernel Oil, RBD PKO)

2.2 วิธีทางเคมี (Chemical refining) เป็นกระบวนการกำจัดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized Bleached and Deodorized Palm Oil นิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นที่เหมาะสมทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดสบู่แล้วเหวี่ยงแยกออก

การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายต่าง เริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80 – 90°C แล้วเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 80 – 85 % ในปริมาณ 0.05 – 0.2 % จากนั้นเติมสารละลายต่างซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ แยกสบู่ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง และล้างโซสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก นำน้ำมันมาฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized Bleached and Deodorized Palm Oil น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว จะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขและส่วนบนเป็นน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม ผลิตผลพลอยได้ที่สำคัญ จากการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม คือ กรดไขมันปาล์ม หรือ Palm Fatty Acid Distillated (PFAD) ซึ่งนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นในอุตสาหกรรมโพลิเอสเตอร์ วัตถุดิบสำหรับผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ยังมีวิตามินอีที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการฟอกสีน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูงสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา และ เครื่องสำอาง

กระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์มีความสำคัญมากในการผลิตน้ำมันปาล์มเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบที่สกัดได้มีสารปนเปื้อนต่างๆ ในปริมาณที่เกินเกณฑ์กำหนดมาก สารปนเปื้อนเหล่านี้ได้แก่ ฟอสโฟลิปิด เม็ดสี คาร์โบไฮเดรตโปรตีนและโลหะ ซึ่งสารปนเปื้อนเหล่านี้จะรวมกันเป็นยางเหนียวหรือกัม (Gum) ดังนั้นน้ำมันปาล์มดิบจึงต้องผ่านการกำจัดยางเหนียวก่อนการทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นในขั้นตอนถัดไปฟอสโฟลิปิดเป็นสารที่พบในยางเหนียวปริมาณมาก และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันบางส่วน นอกจากนี้ยังทำให้น้ำมันมีสีคล้ำเมื่อถูกความร้อน ซึ่งยากต่อกระบวนการฟอกสีในลำดับต่อไป และหากมีสารฟอสโฟลิปิดปนเปื้อนในน้ำมันจะทำให้ไขมันมีสีคล้ำ

เสียดสภาพเร็ว มีอายุการเก็บสั้นลง และส่งผลกระทบต่อการใช้ของน้ำมันผ่านระบบท่อต่างๆ ทำให้เกิดปัญหาในการนำน้ำมันไปใช้งานในรูปของเชื้อเพลิง

2.2 การกำจัดยางเหนียว

ยางเหนียว (Gums) เป็นคำเรียกรวมๆของสารปนเปื้อนในน้ำมันดิบ ซึ่งเป็นส่วนผสมของ ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides), น้ำตาล (Sugar), เรซิน (Resin), สารประกอบของโปรตีน และ โลหะ ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในน้ำมันแต่ละชนิด เช่น ประมาณ 1-2% ในน้ำมัน เรพ (Timoney *et al.*, 1995) หรือ น้อยกว่า 1% ในน้ำมันปาล์มดิบ ตารางที่ 2-1 แสดงปริมาณยางเหนียวที่แตกต่างกันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ซึ่งได้มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ ยางเหนียวมีโครงสร้างโมเลกุลเหมือนไตรกลีเซอไรด์ทั่วไป ยกเว้นการที่มีอย่างน้อย 1 ใน 3 ของกรดไขมันถูกแทนที่ด้วยหมู่ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) ซึ่งในน้ำมันปาล์มดิบจะมีไขมันที่มีขี้ เช่น ฟอสโฟลิปิด และ โกลโคลิปิด อันจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำมันดิบ โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในน้ำมันปาล์มดิบจะมาจากฟอสฟอรัสอนินทรีย์ (inorganic phosphorus) และฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เป็นหลัก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นฟอสฟอรัสอนินทรีย์ ฟอสโฟลิปิดที่ปนเปื้อนในน้ำมันปาล์มดิบมีค่าค่อนข้างต่ำ (5-130 ppm หรือ 0.2-5 ppm as P) เนื่องจากหลังปาล์มสุกผ่านกระบวนการทำให้ปริมาณยางเหนียวลดลงเหลือต่ำกว่าร้อยละ 4 ของปริมาณก่อนเข้ากระบวนการ ซึ่งฟอสฟาไทด์ที่ปนเปื้อนในน้ำมันอาจจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มที่ไม่สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำ (Non-hydratable gums) ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างว่าฟอสโฟลิปิดที่ไม่สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำ (Non-hydratable Phospho Lipid, NHPL) กลุ่มนี้สามารถกำจัดได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรด
- 2) กลุ่มที่ไม่สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำ (Hydratable gums) ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างว่าฟอสโฟลิปิดที่สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำ (Hydratable Phospho Lipid, HPL) กลุ่มนี้สามารถกำจัดได้ด้วยการทำปฏิกิริยากับน้ำ

หากไม่กำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบเหล่านี้จะลดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมัน เช่น สีคล้ำหลังจากถูกทำให้แตกออกจากน้ำมันด้วยความร้อน ความหนืดสูง เสียดสภาพได้ง่ายทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง รวมถึงรบกวนกระบวนการทำงานของตัวเร่ง กลไกการปรับสภาพและแปรรูปน้ำมันในขั้นตอนอื่นๆ ของกระบวนการผลิตต่อไป ทำให้การกำจัดยางเหนียว (Degumming) เพื่อกำจัดสารพวกฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ต้องทำเป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการทำบริสุทธิ์น้ำมันดิบ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำจัดโดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ การกำจัดโดยใช้กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก เพื่อทำให้สารประกอบฟอสโฟลิปิดที่มีขนาดประมาณ 700Da เกิดเป็นรีเวอร์สไมเซลล์ ที่มีขนาด 20,000 Da จากนั้นจึงทำการกำจัดโดยการตกตะกอน เหยียงแยก หรือการกรอง นอกจากนี้สามารถทำการกำจัดได้โดยการกรอง และกำจัดยางเหนียวโดยใช้เอนไซม์ (Indira, *et al.*, 2000; Coutinho *et al.*, 2009; Moura, *et al.*, 2001; Zulkurnain, *et al.*, 2012) สำหรับปริมาณยางเหนียวในเชื้อเพลิงสามารถหาได้ด้วยวิธีการมาตรฐานของ AOCS และวิธีของ MPOB (MPOB,2005)

ตารางที่ 2-1 ปริมาณยางเหนียวและวิธีการกำจัดในการศึกษาน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดน้ำมันพืช	การกำจัดยางเหนียว	ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)			ผู้ศึกษา
		น้ำมันดิบ	Degummed	ร้อยละการกำจัด	
ถั่วเหลือง	2% water, 75°C 1 min, 150 rpm, 0.14% phosphoric acid, 0.6% water, 75°C 20 min, 150 rpm	1148	19	98.3	Fan et al. (2010)
คาโนลา	2% water, 60°C, 0.17% phosphoric acid, 2 % water, 60°C 10 min, 200 rpm	508	167	67.1	Diosady et al. (1982)
รำข้าว	5% water, 95°C, 30 min, 200 rpm	400	41	89.8	Engelmann et al. (2017)
	0.35% phosphoric acid, 2% water	350	86	75.4	Panesa et al. (2017)
ทานตะวัน	5% water, 80°C, 15 min	293.5	56.9	80.6	Zufarov et al. (2008)
	0.6% citric acid, 1% water, 80°C, 15 min	293.5	11.8	96.0	Zufarov et al. (2008)
สบู่ดำ	4% water, 60°C, 30 min, 200 rpm, 0.2% phosphoric acid, 65°C, 200 rpm	1200	60	95.0	Lui et al. (2012)
มะกอก	4% water, 95°C, 15 min, 500 rpm	221	115	48.0	Thompoulos et al. (1993)
	0.35% phosphoric acid, 90°C, 25 min	651	30	95.4	Marrakchi et al. (2015)
สาหร่ายผสม	80% water, 100°C, 30 min, 250 rpm	530	427	19.4	Paisan et al. (2017)
	0.42% phosphoric acid, 95°C, 60 min, 250 rpm, washing with 95°C water	530	93	82.5	Paisan et al. (2017)

สารประกอบพวก ฟอสฟาไทด์, โพรตีน และอนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำมันดิบสามารถกำจัดได้โดยอาศัยการทำปฏิกิริยากับน้ำหรือกรดเจือจาง (Hydration) ทำให้เกิดเป็นเจลที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมันซึ่งสามารถแยกออกได้ด้วยการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนหรือการเหวี่ยงแยกต่อไป (Ochoa, *et al.* 2001; Timoney *et al.*, 1995) ซึ่งกระบวนการนี้มีข้อเสียที่เกิดการสูญเสียน้ำมันและสิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมาก จึงมีความพยายามในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดยางเหนียว เช่น การใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อ (membrane separation technology) ซึ่งกระบวนการกำจัดยางเหนียวมักจะทำหลังจากแยกน้ำมันออกจากไมเซลล์ แต่หากเป็นการใช้เยื่อกรองแยกสามารถทำได้โดยไม่ต้องผ่านการแยกน้ำออกจากไมเซลล์ก่อน ด้วยการใช้การกรองประสิทธิภาพสูง (Ultrafiltration) ในการกรองแยกยางเหนียวได้โดยตรงจากสารผสมระหว่างน้ำมันและเฮกเซนในกรณีที่เป็นน้ำมันที่สกัดด้วยเฮกเซน เช่น น้ำมันรำข้าว น้ำมันถั่วเหลือง

สารฟอสโฟลิปิดเป็นสารลดแรงตึงผิวในธรรมชาติที่มีส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างของไมเซลล์ (Micells) ในน้ำมันซึ่งไมเซลล์น้ำจะมีขนาดใหญ่มาก (ประมาณ 20000 Da) เมื่อเทียบกับขนาดของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้สามารถแยกจากกันได้ด้วยการกรองด้วยเยื่อ (membrane) โดยส่วนของน้ำมันไหลผ่านวัสดุกรองส่วนของยางเหนียว วัสดุสี กรดไขมันอิสระบางส่วน และ สารปนเปื้อนอื่นบางชนิด จะติดอยู่ด้านบนของวัสดุกรอง ซึ่งในช่วงแรกมีข้อจำกัดของการกรองตรงที่การกรองทำได้ช้าและเกิด

ตะกรันบนชั้นกรองปริมาณมากเนื่องจากวัสดุกรองเป็นสารอินทรีย์ แต่ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาให้ก้าวหน้าขึ้นอย่างรวดเร็ว ข้อดีของการกำจัดยางเหนียวในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชด้วยการกรองด้วยเยื่อ คือ การใช้พลังงานน้อย ปลอดภัย ไม่ใช้สารเคมี ทำให้สารสำคัญในน้ำมันยังคงอยู่เหมือนเดิม ลดน้ำเสียในการผลิต และสามารถปรับใช้ได้ง่าย นอกจากการใช้กระบวนการกรองด้วยเยื่อแบบธรรมดาแล้วเทคนิคการกำจัดยางเหนียวที่ได้รับความนิยมอื่นๆ อีก คือ การกำจัดยางเหนียวจากส่วนผลสมของน้ำมันและเฮกเซนและสารอื่นๆ โดยไม่ต้องเติมสารอินทรีย์อื่นๆ ลงไป ซึ่งข้อดีที่สำคัญ คือ ความไม่เสถียรของเยื่อกรองในสารตัวทำละลายอินทรีย์ รวมถึงอัตราการกรองที่ต่ำเนื่องจากความหนืดของน้ำมันค่อนข้างสูง ทำให้เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้น้อย (Ochoa, *et al.* 2001) ซึ่งมีการรายงานผลการศึกษากำจัดยางเหนียวจากน้ำมันถั่วเหลืองด้วยเยื่อต่างๆ กัน พบว่าเยื่อกรองที่ผลิตจากวัสดุโพลีเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ PVDF, PES, PS สามารถใช้กรองแยกยางเหนียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถกำจัดยางเหนียวได้สูงถึง 98%

ในการทำบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบด้วยวิธีการทางกายภาพประกอบด้วย 3 ขั้นตอน หลัก คือ การกำจัดยางเหนียว (Degumming), การกำจัดสี (Bleaching), และ การกำจัดกลิ่น (Deodorization) เพื่อให้ได้น้ำมันบริสุทธิ์สำหรับบริโภค ซึ่งในกระบวนการผลิตนิยมใช้การใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร่วมกับวัสดุดูดซับเพื่อกำจัดยางเหนียวและสารปนเปื้อนอื่นๆ เช่น สาร 3-monochloropropane-11,2-diol (3-MCPD) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นในน้ำมันปาล์มระหว่างการทำบริสุทธิ์ ซึ่งมีการศึกษาถึงผลของขั้นตอนการกำจัดยางเหนียวต่อปริมาณสาร 3-MCPD ในงานของ Zulkurnain, *et al.* (2012) ที่แสดงให้เห็นว่าการกำจัดยางเหนียวส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งกระบวนการกำจัดยางเหนียวเริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบไปจนถึง 70 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.05% เป็นเวลา 20 นาที ส่วนการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำทำโดยการเติมน้ำลงไป 1% แทน จากนั้นนำมาทำการเหวี่ยงแยกยางเหนียวออก ซึ่งวิธีการคล้ายกับการกำจัดยางเหนียวในน้ำมันรำข้าวด้วยไอน้ำ (Indira, *et al.*, 2000) ซึ่งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสารประเภทฟอสฟาไทด์ (1.8%) ในน้ำมันรำข้าว โดยพบว่าปริมาณของน้ำที่เติมและอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักที่กระทบต่อประสิทธิภาพของการกำจัดยางเหนียว

2.3 ไบโอดีเซล

จากสถานการณ์ปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ทำให้ทั่วโลกพยายามหาเชื้อเพลิงที่สะอาดและหมุนเวียนได้ (renewable) มาใช้งาน พลังงานจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นแหล่งจากชีวมวลที่ได้รับความนิยมเป็นพิเศษเนื่องจากเป็นแหล่งที่ไม่มีพิษ (non-toxicity), ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradability) และไม่มีองค์ประกอบที่เป็นกำมะถันและสาร อะโรมาติกส์ (Dune and Knothe, 2011; De-Almeida *et al.*, 2002; Hitam and Jahis, 1995) ซึ่งอาจนำน้ำมันมาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงหรือนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมในอัตราส่วนต่างๆ เนื่องจากน้ำมันและไขมันเหล่านี้ยังมีสมบัติทางกายภาพไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ความเร็วรอบสูงในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างไปจากน้ำมันดีเซลที่ผลิตจากปิโตรเลียมอยู่มาก (Bari, *et al.*, 2002; Ndayishimiye and Tazerout, 2011; Yusaf, *et al.*, 2011) จึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับปรุงสมบัติของน้ำมันก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง วิธีการที่นิยมใช้มาก คือ การปรับปรุงด้วยการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการทรานส์เอ

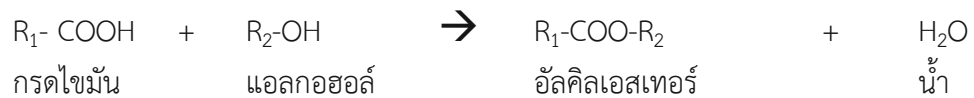
สเทอริฟิเคชัน (transesterification) หรือ อัลกอฮอล์ไลซิส (alcoholysis) ทำให้องค์ประกอบไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารเอสเทอร์ซึ่งมีความหนืดลดลง และ เรียกสารนี้ว่า “ไบโอดีเซล” สมบัติทางกายภาพ เคมีและความเป็นเชื้อเพลิงของไบโอดีเซลประเภทนี้จะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยตรงหรือต้องปรับปรุงอีกเล็กน้อย นอกจากนี้ไบโอดีเซลยังเป็นพลังงานทางเลือกที่มีคุณสมบัติเด่นอีกหลายประการ เช่น ลดการพึ่งพาน้ำมันจากปิโตรเลียม ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยลง เช่นใน B100 จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 50% ส่วนการใช้ B20 จะช่วยลดได้ 10% เมื่อเทียบกับน้ำมันปกติ นอกจากนี้ยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ และ ไฮโดรคาร์บอน

ไบโอดีเซลจากกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันจากพืชหรือสัตว์จึงถือเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่สำคัญในปัจจุบัน องค์กรประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลชนิดนี้ประกอบด้วยเอสเทอร์สายโซ่ยาวชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลของรถยนต์ เครื่องกำเนิดพลังงาน เครื่องกำเนิดความร้อน และเชื้อเพลิงของเครื่องบินได้ โดยมีลักษณะเด่นเหนือน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมหลายประการ เช่น เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถสร้างขึ้นมาใช้ใหม่ได้ (renewability), สามารถผลิตมาจากวัตถุดิบในท้องถิ่น (domestic origin), ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ (biodegradability), มีคุณสมบัติการหล่อลื่น (lubricity) เป็นต้น นอกจากนี้การเผาไหม้ของไบโอดีเซลยังก่อให้เกิดมลพิษ เช่น อนุภาคขนาดเล็ก, สารไฮโดรคาร์บอนชนิดอะโรมาติก, คาร์บอนไดออกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, และ คาร์บอน น้อยกว่าการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียม

ปัญหาพลังงานเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจมากของประเทศไทยในปัจจุบัน ทั้งในด้านการจัดหาให้มีเพียงพอและยั่งยืน การจัดสรรให้เหมาะสมและเป็นธรรม การใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและปลอดภัย โดยประเทศไทยได้กำหนดวิสัยทัศน์การวิจัยด้านพลังงานไว้ว่า “ความมั่นคงทางพลังงานของไทย สู่อุตสาหกรรมพลังงาน และสามารถพัฒนาพลังงานใหม่ ลดการนำเข้าเพื่อนำพาประเทศสู่การเป็นผู้นำด้านพลังงานสะอาด (Green Energy) ในภูมิภาคอาเซียน” ซึ่งมีแนวทางหนึ่งที่สำคัญ คือ ส่งเสริมการผลิตและพัฒนาพลังงานหมุนเวียน พลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูงทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ คือ ไบโอดีเซล ซึ่งมีการผลิตและใช้งานในประเทศอย่างกว้างขวาง เป้าหมายปัจจุบันของไทยคือน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายในท้องตลาดจะต้องมีการผสมไบโอดีเซลร้อยละ 7 แต่ในปัจจุบันอาจมีปริมาณต่ำกว่าค่าเป้าหมายตั้งไว้เนื่องจากปริมาณและราคาของไบโอดีเซลและน้ำมันดีเซลในท้องตลาด

2.3.1 กระบวนการผลิตไบโอดีเซล

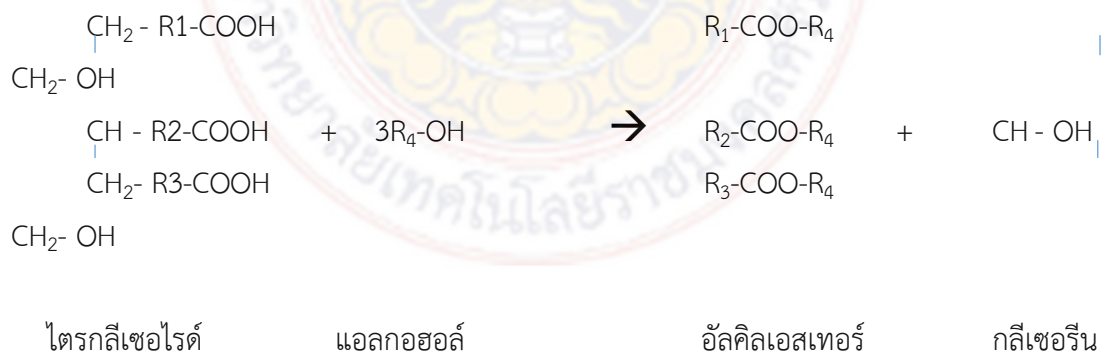
ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล มีความหมายรวมทั้งน้ำมันและไขมันจากพืชและจากสัตว์ อาจนำมาใช้โดยตรง ใช้โดยการผสมกับเชื้อเพลิงปิโตรเลียม และทำการแปรรูปด้วยวิธีการทางเคมี/กายภาพ ให้เป็นสารใหม่ที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงดีเซลได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งไบโอดีเซลที่ได้รับการยอมรับและใช้งานจริงทั่วไปในประเทศไทย คือ อัลคิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Alkyl Ester) ซึ่งได้มาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมันหรือน้ำมันกับหมู่อัลคิลที่ได้จากโมเลกุลของแอลกอฮอล์สารโซ่สั้น ตามสมการในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์

ปฏิกิริยาข้างต้น คือ ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีเมื่อใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ได้ดีกับสารตั้งต้นที่เป็นกรดไขมัน หากเป็นโมเลกุลของน้ำมันจากพืชหรือสัตว์จะเป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีหมู่ของกรดไขมัน 3 หมู่ จับอยู่กับแกนกลีเซอรอลดัง ภาพที่ 2-2 ซึ่งโมเลกุลดังกล่าวต้องถูกทำให้แตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระจำนวน 3 ตัวก่อน จึงจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันตามภาพที่ 2-1 ได้ การแตกตัวดังกล่าวเกิดได้ยากในสภาวะที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดต้องใช้อุณหภูมิสูงเกิน 100 °C และใช้เวลาหลายชั่วโมงในการทำปฏิกิริยา ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมสำหรับกรณีนี้ คือ ตัวเร่งที่มีสมบัติเป็นเบส ซึ่งตัวเร่งกลุ่มนี้สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C และใช้เวลาสั้นกว่ากรณีการใช้กรดเร่งปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นอัลคิลเอสเทอร์สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเกิดกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้จำนวน 1 โมเลกุล จากไตรกลีเซอไรด์ 1 โมเลกุล

ในปัจจุบันการผลิตไบโอดีเซลชนิดอัลคิลเอสเทอร์นิยมผลิตด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันและไขมันจากสัตว์ พืช สาหร่าย รวมทั้งสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ต่างๆ ซึ่งเป็นแหล่งหมุนเวียน สามารถผลิตใหม่ได้จนมีปริมาณเพียงพอสำหรับใช้งานได้ในอนาคต วัตถุดิบหลักที่ใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยในปัจจุบัน คือ น้ำมันปาล์ม เนื่องจากประเทศไทยสามารถเพาะปลูกปาล์มน้ำมันและมีปริมาณผลผลิตน้ำมันจากปาล์มสูงที่สุด โดยไทยผลิตน้ำมันปาล์มได้มากที่สุดเป็นอันดับสามของโลก น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ใช้เพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากนี้ยังมีการนำน้ำมันทางเลือกอื่นๆ มาใช้ผลิตไบโอดีเซลด้วยเช่นกัน เช่น น้ำมันทอดใช้แล้ว น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันสาหร่าย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันเมล็ดยางพารา เป็นต้น สำหรับน้ำมันและไขมันสัตว์มีการนำมาใช้น้อยกว่า เช่น ไขมันหมู ไขมันไก่ เป็นต้น



ภาพที่ 2-2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันหรือไขมันกับแอลกอฮอล์

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน โดยมีวิธีการที่หลากหลาย (Aransiola, *et al.*, 2014, Simasatitkul, *et al.*, 2012; Yusup and Khan, 2010; Joes, *et al.*, 2011; Gutiérrez, *et al.*, 2009; Yujaroen, *et al.*, 2009; ชาคริต ทองอุไร และคณะ 2545) แตกต่างกันในแง่ของชนิดและสมบัติของวัตถุดิบ ตัวเร่งปฏิกิริยา พลังงาน สำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบเมทานอลแบบใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมใช้กันทั่วไปสามารถสรุปเป็นขั้นตอนพอสังเขปได้ดังนี้

(1) การเตรียมน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา

นำน้ำมันปาล์มดิบที่จะใช้เป็นวัตถุดิบจะต้องนำไปผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดกรดให้มีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

(2) การเตรียมนสารละลายแอลกอฮอล์

เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่นิยมใช้สำหรับผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากมีราคาถูกโดยเมทานอลต้องมีน้ำเจือปนไม่เกิน 1% นำมาทำการเตรียมนสารละลายโดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 - 5 ส่วน ละลายในเมทานอล 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นไปตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในวัตถุดิบ หากกรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงก็ต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนที่สูงขึ้นเพราะส่วนหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระส่วนที่เหลือจึงจะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยา

(3) การทำปฏิกิริยา

การผลิตไบโอดีเซลส่วนใหญ่จะทำในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ(batch) โดยเริ่มด้วยการอุ่นน้ำมันที่ปราศจากน้ำให้มีอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส (Lam and Lee, 2011) จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ลงไปอย่างช้าๆ สัดส่วนน้ำมันต่อสารละลายแอลกอฮอล์โดยน้ำหนักเท่ากับ 5 ต่อ 1 ทำการกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างทั่วถึงเป็นเวลาประมาณ 15 นาที ด้วยอัตราการกวนปานกลาง (500 รอบ/นาที) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ได้ผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์และกลีเซอริน แต่ปฏิกิริยานี้ผันกลับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหยุดกวนเพื่อแยกผลผลิตตัวใดตัวหนึ่งออก เมื่อหยุดกวนกลีเซอรินซึ่งมีความหนาแน่นสูงกว่า (ประมาณ 1.26 กรัม/มิลลิลิตร) จะแยกชั้นออกจากชั้นเมทิลเอสเทอร์ โดยแยกตัวตกลงมาที่ก้นถัง ดังนั้นในชั้นเมทิลเอสเทอร์จะเหลือกลีเซอรินอยู่น้อย ปฏิกิริยาการเกิดเมทิลเอสเทอร์จะสามารถดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง น้ำมันก็จะทำปฏิกิริยาไปมากกว่า 95%

(4) การแยกกลีเซอริน

กลีเซอรินจะถูกถ่ายออกจากด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์ลงใส่ภาชนะในขณะที่ยังร้อนอยู่เพราะหากทิ้งไว้ให้เย็น ชั้นกลีเซอรินจะกลายเป็นของแข็ง

(5) การล้างสิ่งปนเปื้อนออก

เมทิลเอสเทอร์ (ไบโอดีเซล) ที่ได้จะปนอยู่กับสารอื่นๆ เช่น สบู่ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไขมันอิสระหรือน้ำมัน กลีเซอรินที่ละลายอยู่ในชั้นเมทิลเอสเทอร์ โซเดียมไฮดร

ออกไซด์ เมทานอลที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาและน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด ดังนั้นจึงต้องทำการขจัดออกด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่นหลายครั้ง ปริมาณน้ำที่ใช้แต่ละครั้งประมาณ 1 ต่อ 4 ของปริมาณเมทิลเอสเทอร์ เมื่อเติมน้ำเพียงพอแล้วรอให้น้ำแยกชั้นจากเมทิล-เอสเทอร์เป็นเวลา ประมาณ 5 - 10 นาที จากนั้นถ่ายน้ำออกด้านล่าง เติมน้ำอุ่นเพื่อล้างใหม่ การล้างจะกระทำ 4 - 5 ครั้ง โดยต้องมีการกวนในการล้างด้วย

(6) การขจัดน้ำออกขั้นสุดท้าย

เมื่อล้างสิ่งปนเปื้อนออกหมดแล้ว ขั้นตอนสุดท้าย คือ การขจัดน้ำที่หลงเหลือในเมทิลเอสเทอร์ออก ซึ่งทำโดยการให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 20 นาที หรือการกรองด้วย salt filter แล้วทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อนำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงต่อไป

วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงจึงได้รับความนิยมในการใช้มาก แต่อย่างไรก็ตามจะสังเกตว่าในขั้นตอนที่ (5) จะต้องทำการล้างหลายครั้ง เพื่อกำจัดสบู่ที่เกิดขึ้นและตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลือ ทำให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการนี้ปริมาณมาก เพื่อลดปัญหาดังกล่าวลงการใช้ตัวเร่งชนิดของแข็งจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มิตัวเร่งชนิดใดที่ได้รับการยอมรับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เร่งปฏิกิริยานี้ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ชนิดวิวิธพันธ์ที่นิยมใช้ เช่น MgO , CaO , $Al-Mg$ hydrotalcite, Ln_2O_3 , ZnO , CeO_2 , $CaCO_3$, Sulfate ZrO , Sulfate tin oxide, porous silica เป็นต้น (Tariq, *et al.*, 2012, Alhassan, *et al.*, 2013, Yan *et al.*, 2009, Borges, *et al.*, 2011, Boro, *et al.*, 2014) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาถึงการนำเอาวัสดุที่มีความว่องไวสำหรับปฏิกิริยามาใส่บนตัวรองรับชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการผลิตไบโอดีเซลด้วยเช่นกัน (Zabeti, *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตามไม่พบข้อมูลเกี่ยวกับการนำตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์มาใช้งานจริงเพื่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

2.3.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

การนำน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันพืชผสมมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรงนั้นมีปัญหาอยู่มาก โดยเฉพาะเกี่ยวกับความหนืด, องค์ประกอบกรดไขมันและกรดไขมันอิสระของน้ำมันแต่ละชนิด รวมถึงการเกิดยางเหนียวเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและโพลีเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดเก็บและการเผาไหม้ จึงมีความพยายามในการเปลี่ยนไขมันและน้ำมันต่างๆ ให้เป็นเชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์มากขึ้น เช่น การทำไมโครอิมัลชัน การแตกตัวด้วยความร้อน และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน ซึ่งกระบวนการที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในปัจจุบัน คือ กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน คือ ปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ไลซิสของไขมันหรือน้ำมัน เกิดเป็นสารประกอบเอสเทอร์กับกลีเซอรอล ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดได้ช้าในสภาวะปกติที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้จะเป็นแอลกอฮอล์สายโซ่สั้น เช่น เมทานอล และ เอทานอล ซึ่งเมทานอลนั้นมีราคาถูก ส่วนเอทานอลได้รับความนิยมมากเนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จากสารชีวมวลจากภาคการเกษตรเช่นกัน ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันสามารถเร่งได้ด้วยตัวเร่งเบส กรด รวมถึงเอนไซม์ โดยสามารถทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องหรือแบบกะ ซึ่งอาจจำแนกกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันในการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลได้เป็น

- (1) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งแบบเอกพันธ์ (Homogeneous Catalyzed)

เป็นการทำปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งในรูปแบบของเหลว ได้แก่ สารละลายกรดกับสารละลายเบส วิธีการเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายกรดนั้นเหมาะสมกับสารตั้งต้นที่มีกรดไขมันอิสระสูงซึ่งสารละลายกรดที่นิยมนำมาใช้เร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กรดซัลฟิวริก, กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลโฟนิก, และกรดฟอสฟอริก อย่างไรก็ตามระบบที่ใช้กรดเร่งปฏิกิริยานั้นจะต้องไม่มีน้ำปนเปื้อน และปฏิกิริยาเกิดขึ้นค่อนข้างช้าภายใต้สภาวะอุณหภูมิและความดันที่ทำการสังเคราะห์ สำหรับการเร่งปฏิกิริยาด้วยสารละลายเบสจะได้รับความนิยมมากกว่าเนื่องจากราคาถูกและเกิดปฏิกิริยาได้ไวกว่า อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งแบบนี้จะสิ้นเปลืองพลังงานในการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ การแยกตัวเร่งออกจากผลิตภัณฑ์และการเกิดน้ำเสียที่มี pH สูง นอกจากนี้สารละลายเบสไม่เหมาะสมกับน้ำมันที่กรดไขมันอิสระสูงเนื่องจากทำให้เกิดสบู่ที่ทำให้แยกผลิตภัณฑ์ได้ยาก

สำหรับน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระสูงอาจแก้ปัญหาด้วยการใช้วิธีทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกใช้สารละลายกรดในการเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกรดไขมันอิสระไปเป็นไบโอดีเซล จากนั้นใช้สารละลายเบสเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งเอกพันธ์ชนิดสารละลายเบสเหมาะสำหรับสารตั้งต้นที่มีกรดไขมันอิสระไม่เกิน 3% เท่านั้น

- (2) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous Catalyzed)

ไบโอดีเซลราคาสูงเนื่องจากราคาของวัตถุดิบและต้นทุนการผลิต ต้นทุนการผลิตที่สำคัญคือตัวเร่งและการบำบัดน้ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการนำตัวเร่งวิวิธพันธ์มาใช้แทน เนื่องจากตัวเร่งวิวิธพันธ์สามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายจึงสามารถแยกแล้วนำมาใช้ซ้ำได้หลายครั้ง จึงลดต้นทุนตัวเร่งที่ใช้และไม่ปนเปื้อนไปกับผลิตภัณฑ์ ทำให้ไม่ต้องสิ้นเปลืองน้ำสำหรับการล้าง และลดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตลง ตัวเร่งวิวิธพันธ์ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง

- (3) การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันภายใต้สภาวะเหนือวิกฤติ (supercritical fluid method)

วิธีการนี้ไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา แต่เป็นการนำเอาน้ำมันและเมทานอลมาทำปฏิกิริยาภายใต้อุณหภูมิและความดันวิกฤติ (Gameiro, *et al.*, 2015)

- (4) อื่น ๆ

เช่น การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยใช้เอนไซม์ (Enzyme Catalyzed) การใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) การใช้เครื่องปฏิกรณ์ชนิดเมมเบรน (Membrane) การใช้เครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก (Microreactor) การใช้ระบบผสมแบบสถิตย์ (Static Mixer) รวมถึงการใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Arumugam and Poonusami, 2014; Behzadi and Farid, 2009; Chen, *et al.*, 2010; Feng, *et al.* 2011; Tesser, *et al.* 2009; Sajjadi, *et al.*, 2014; Santacesaria, *et al.*, 2011; Yin, *et al.* 2015)

ไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยมีวิธีการที่หลากหลาย (Aransiola, *et al.*, 2014, Simasatitkul, *et al.*, 2012; Yusup and Khan, 2010; Joes, *et al.*, 2011; Gutiérrez, *et al.*, 2009; Yujaroen, *et al.*, 2009; ชาคริต ทองอุไร และคณะ 2545) แตกต่างกันในแง่ของชนิดและสมบัติของวัตถุดิบ ตัวเร่งปฏิกิริยา พลังงาน ซึ่งในปัจจุบันผลิตโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยากลุ่มเอกพันธ์ (homogeneous catalysts) กับ กลุ่มวิวิธพันธ์ (heterogeneous catalysts) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ตัวเร่งกลุ่มเอกพันธ์ เช่น NaOH, KOH, CH₃ONa และ CH₃OK เนื่องจากให้อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่ากลุ่มวิวิธพันธ์ อย่างไรก็ตามการใช้ตัวเร่งกลุ่มนี้ยังมีปัญหาในการใช้งานอยู่หลายประการ เช่น ต้องการวัตถุดิบที่มีคุณภาพสูง ปัญหาการแยกผลิตภัณฑ์ ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีความพยายามในการนำเอาตัวเร่งกลุ่มวิวิธพันธ์มาใช้แทนมากขึ้น การใช้ตัวเร่งกลุ่มของแข็งและเอนไซม์สามารถจัดปัญหาของการใช้ตัวเร่งเอกพันธ์ได้ (Atadashi, *et al.*, 2013)

เชื้อเพลิงไบโอดีเซลสามารถสังเคราะห์ได้ด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันและไขมัน ดังสมการใน ภาพที่ 3 ซึ่งต้องการตัวเร่งปฏิกิริยามาช่วยเร่งการเปลี่ยนไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นอัลคิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล ตัวเร่งเอกพันธ์กลุ่มเบสเป็นตัวเร่งที่นิยมนำมาใช้เร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันดังกล่าว โดย CH₃ONa เป็นตัวที่มีความว่องไวมากที่สุด แต่เนื่องจาก NaOH และ KOH มีราคาต่ำกว่าจึงได้รับความนิยมมากกว่าในอุตสาหกรรม การใช้ตัวเร่งกลุ่มนี้ต้องใช้สารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูง โดยควรมีกรดไขมันอิสระปนเปื้อนไม่เกิน 3 % และต้องไม่มีน้ำปนเปื้อน เนื่องจากน้ำที่ปนเปื้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไตรกลีเซอไรด์ไปเป็นกรดไขมันอิสระดังสมการใน ภาพที่ 2 ซึ่งกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยากับตัวเร่งที่เป็นด่างเกิดเป็นสบู่ดังสมการในภาพที่ 3 การเกิดสบู่จะสิ้นเปลืองตัวเร่งและทำให้แยกไบโอดีเซลออกจากสารผสมได้ยาก ทำให้เราไม่สามารถใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากสารตั้งต้นที่มีกรดไขมันอิสระสูงได้ จึงต้องทำการปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบก่อนการผลิตซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงทำให้ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีราคาสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

2.3.3 สมบัติของไบโอดีเซล

สมบัติของไบโอดีเซลที่ผลิตได้จะแตกต่างกันไป ขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามองค์ประกอบในสารตั้งต้น ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการทำปฏิกิริยา และการทำบริสุทธิ์ผลิตภัณฑ์ ซึ่งสมบัติของไบโอดีเซลที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลกระทบต่อการใช้งาน จึงมีมาตรฐานต่างๆ กำหนดคุณสมบัติที่เหมาะสมของไบโอดีเซลขึ้นมา ดังแสดงในตารางที่ 1 (Pullen and Saeed, 2012) ซึ่งผู้ผลิตจะต้องปรับปรุงสมบัติที่ควบคุมทุกประการให้เป็นไปตามมาตรฐานดังกล่าว ซึ่งไบโอดีเซลจะต้องทำการตรวจวัดตามมาตรฐานต่างๆ เช่น มาตรฐาน EN 14112, ASTM, AOCs เป็นต้น

ลักษณะทางกายภาพของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลอย่างหนึ่งที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางคือจุดวาบไฟ โดยพบว่าจุดวาบไฟของไบโอดีเซลมีความแตกต่างกันไปตามสมบัติของวัตถุดิบและกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจุดวาบไฟของไบโอดีเซลจะสูงกว่าของน้ำมันดีเซลและเบนซินที่ผลิตมาจากปิโตรเลียม ทำให้ไบโอดีเซลมีความปลอดภัยในการจัดเก็บ ขนส่ง และ ใช้งานมากกว่า แต่ค่าความร้อนของไบโอดีเซล (37 MJL⁻¹) จะต่ำกว่าของน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบต่ำได้โดยตรง แต่เครื่องยนต์บางรุ่นอาจต้องการการปรับปรุงระบบเชื้อเพลิงและถังเชื้อเพลิงเล็กน้อย การใช้งานสวนใหญ่จึงนิยมไปผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ไบโอดีเซลอย่างแพร่หลาย หลายประเทศทั่วโลกจึงต้องกำหนดมาตรฐาน สำหรับคุณภาพไบโอดีเซลขึ้น เช่น ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีมาตรฐาน ASTM D6751 ในทวีปยุโรปมีมาตรฐานรวมกัน ที่ใช้ EN14214:2003 ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีมีมาตรฐาน DIN E51606 และประเทศออสเตรเลีย มีมาตรฐานที่กำหนดขึ้นเองเรียกว่า Fuel standard (Biodiesel) determination 2003 เป็นต้น สำหรับประเทศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ออกประกาศเพื่อกำหนดคุณภาพและลักษณะของไบโอดีเซลขึ้น 2 ฉบับ ได้แก่

1) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล ประเภท เมทิลเอสเตอรของกรดไขมัน พ.ศ. 2550 สำหรับไบโอดีเซลที่จะนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อกำหนดขายเชิงพาณิชย์ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกประเภท

2) ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ.2549 ประกาศขึ้นเพื่อกำกับคุณภาพของไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นในชุมชนและใช้กันเองภายในชุมชน ใช้กับเครื่องจักรกลการเกษตรประเภทรอบต่ำ

ซึ่งมาตรฐานของต่างประเทศและของประเทศไทยที่กล่าวมา สำหรับมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ.2550 จะมีข้อกำหนด 23 ขอรวมกับสารเติมแต่งอีก 1 ขอรวมทั้งสิ้นเป็น 24 ข้อ ที่สำคัญได้แก่ ปริมาณเมทิลเอสเตอร (Methyl Ester) คามเมทิลเอสเตอร คือ ปริมาณโมเลกุลเมทิลเอสเตอรหรือไบโอดีเซล คาทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานบ่งชี้ว่าการผลิตไบโอดีเซลทำให้ได้โมเลกุลไบโอดีเซลมากตามเกณฑ์ โมเลกุลหรือสารอื่นๆที่ปะปนมาจะมีน้อย ซึ่งทำให้ไบโอดีเซลมีคุณสมบัติในทุกๆด้านดีตามไปด้วย การนำไปใช้จะให้ผลดีตามประสิทธิภาพ การสึกหรอ เขม่าควัน หรือคุณสมบัติอื่นๆ ในทางที่ดีทั้งหมดไ้ระบุคุณสมบัติของไบโอดีเซล วิธีทดสอบใช้ตาม EN14103 ซึ่งตรวจวัดโดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี และผลที่ได้ต้องให้ค่าต่ำกว่า 96.5%wt เทคนิคโครมาโตกราฟี (Chromatography) (ศูนย์บริการวิชาการที่ 3, 2553)

ตารางที่ 2-2 เปรียบเทียบข้อกำหนดสมบัติของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน EU and US

(Pullen and Saeed, 2012)

สมบัติ	EN14214/213			ASTM D 6751		หมายเหตุ
	Test method	Limits EN14114	Limits EN14113	Test method	Limit s	
Oxidation stability [h]	EN 14112	>6	>4	EN14112	>3	US spec more lenient
Iodine value [f I2/100g]	EN 14111	<120	<130	-	-	No IV spec for US
Acid no. (acid value) [mg KOH/kg]	EN 14104	<0.5	-	ASTM D 664	<0.5	
Water content [mg/kg]	EN ISO 12937	<500	-	ASTM D 2709	<500	
Group I alkali metals (Na+K) [mg/kg]	EN 14108 EN 14109	<5.0	-	EN 14538	<5.0	
Group II Earth metals (Ca+Mg) [mg/kg]	EN 14538	<5.0	-	EN 14538	<5.0	
Total glycerin [%mass]	EN14105	<0.25	-	ASTM D 6584	<0.24	
Distillation temperature [°C]	-	-	-	D1160	<360	No EU spec on distillation temp
Methanol content [%m/m]	EN 14110	<0.20	-	-	-	No US spec on methanol content
Copper strip corrosion (3h, 50°C)	EN ISO 2160	Class I	-	D 130	No.3	

[rating]					Max
Phosphorous content [mg/kg]	EN 14107	<10.0	-	D 4951	<10
Ester content [% (m/m)]	EN 14103	>96.5	-	-	No US spec on ester content
Density @15 °C [kg/m ³]	EN ISO 3675 EN ISO 12185	860-900	-	-	No US spec on density
Viscosity @40 °C [mm ² /s]	EN ISO 3104 EN ISO 3105	3.5-5.0	-	D 445	1.9- 6.0
Flash point [°C]	EN ISO 3679	> 120	-	D 93 (closed cup)	>130. 0
Sulfur content [mg/kg]	EN ISO 20846 EN ISO 20884	<10.0	-	D 5453	<15 US more lenient on sulfur. For S15 and S500 biodiesel grade
Carbon residue [or Tar remnant (10% dist. Residue [%m/m)]	EN ISO 10370	<0.30	-	D4530 (100% sample)	<0.05
Sulfated Ash [%m/m]	ISO 3987	<0.02	-	D 874	<0.02
Total contamination [mg/kg]	EN 12662	<24	-	-	No US spec on insoluble contaminant
Content of FAME with ≥ 4 double bonds [%m/m]	EN 14103	< 1	-	-	No US spec on ≥ 4 double bonds
Linolenic acid content [%m/m]	EN 14103	<12	-	-	No US spec on liolenic
Mono-glyceride content [%m/m]	EN 14105	<0.80	-	-	No US spec on residual glycerides
Di-glyceride content [%m/m]	EN 14105	<0.20	-	-	-
Tri-glyceride content [%m/m]	EN 14105	<0.20	-	-	-
Free glyceride content [%m/m]	EN 14105 EN 14106	<0.02	-	D 6584	<0.02
Cold filter plugging point [°C]	EN 116	-	-	-	No US spec on CFPP
Cloud point [°C]	-	-	-	D 2500	report No EU spec on cloud point
Pour point [°C]	EN ISO 3016	-	<0	-	Pour point spec only for heating oil
Heating value [MJ/kg]	DIN 51900-1	-	>35	-	Heating value spec only for heating oil
Cetane Number	EN ISO 5165	>51	-	D 613	≥47

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เตาเผาไฟฟ้า (Electric Furnace, Carbolite)
- เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมให้ความร้อน (Hot Plate Magnetic Stirrer)
- เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟพร้อมอุปกรณ์ประกอบ (Perkin, Clarus 600)
- เครื่องปฏิกรณ์ผลิตไบโอดีเซล
- เครื่องวิเคราะห์จุดวาบไฟ
- เครื่องวิเคราะห์ความหนืด
- เครื่องระเหย
- เตาอบ (Memmert)
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- เครื่องแก้ว
- ถ้วยเซรามิกส์
- โกร่งบดสาร
- ตะแกรงแยกขนาด

3.2 สารเคมี

- น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)
- น้ำปราศจากไอออน (DI)
- แมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต (Magnesium hydroxycarbonate) $[(\text{MgCO}_3)_4 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 2 mol/L
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 5 mol/L
- สารละลายสำหรับรีดิวซ์ (Reducing agent)
- สารละลายซัลเฟต/โมลิบดีต (Sulfate2Molybdate reagent)
- สารละลายโซเดียมอะซิเตต
- สารละลายฟอสเฟตมาตรฐาน
- โพแทสเซียมไอโอไดด์
- เอทิลอะซิเตต
- คลอโรฟอร์ม
- โซเดียมไทโอซัลเฟต
- โซเดียมคาร์บอเนต
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
- ก๊าซฮีเลียม, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, อากาศ สำหรับเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, grade AR, QReC)

- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH, grade AR, QReC)
- โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($C_8H_5KO_4$, grade AR, QReC)
- เมทานอล (CH_3OH , grade AR, QReC)
- เอทานอล (C_2H_5OH , grade AR, QReC)
- ไอโซโพรพานอล (C_3H_7OH , Grade AR, QReC)
- เฮปแทน (HPLC grade, Fisher Scientific)
- กรดอะซิติก (Acetic Acid Glacial, AR grade, QReC)
- กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4 85%, Reagent grade, J.T. Baker)
- น้ำปราศจากไอออน (DI)
- โซเดียมไทโอซัลเฟต
- ฟีนอล์ฟทาลิน ($C_{29}H_{14}O_4$)
- สารมาตรฐาน Methyl heptadecanoate, analytical standard, 99.0% (GC) (FLUKA Aldrich)
- ก๊าซฮีเลียม, ไฮโดรเจน, ไนโตรเจน, อากาศ สำหรับเครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (ความบริสุทธิ์ 99.999%)

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้กรดฟอสฟอริก

- (1) นำน้ำมันปาล์มดิบมาใส่ปิกเกอร์อุ่นไปที่อุณหภูมิ 80 °C
- (2) เติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 หรือ 2.00 % ลงในน้ำมันปาล์มดิบอุ่นรักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 80 °C เป็นเวลา 15, 30, 45, และ 60 นาที ตามลำดับ
- (3) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำสารที่ได้มาวางทิ้งไว้ในตักตะกอนที่อุณหภูมิห้อง
- (4) กรองแยกตะกอนของยางเหนียวออกจากน้ำมันปาล์มได้น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว
- (5) นำน้ำมันดิบที่ได้มาทดสอบ หาปริมาณยางเหนียว ความหนืด ปริมาณกรดไขมันอิสระ และความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- (6) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.2 การกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้น้ำร้อน

- (1) นำน้ำมันดิบมาอุ่นให้มีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- (2) เติมน้ำที่ปราศจากไอออน (DI) ปริมาณร้อยละ 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 หรือ 5.0 โดยน้ำหนัก
- (3) รักษาอุณหภูมิให้คงที่ ระยะเวลา 30, 60, 90, 120 หรือ 180 นาที
- (4) ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องแล้วทำการกรองแยกตะกอน
- (5) นำน้ำมันดิบที่ได้มาทดสอบ หาปริมาณยางเหนียว ความหนืด ปริมาณกรดไขมันอิสระ และความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- (6) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.3 การกำจัดยางเหนียวโดยใช้น้ำร้อนร่วมกับกรดฟอสฟอริก

1. นำน้ำมันดิบมาอุ่นให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
2. เติมน้ำที่ปราศจากไอออน (DI) ปริมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก กวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
3. ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องแล้วทำการกรองแยกตะกอน
4. เติมกรดฟอสฟอริก ร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก กวนผสมเป็นเวลา 15 นาที
5. ทิ้งให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องแล้วทำการกรองแยกตะกอน
6. ล้างด้วยน้ำร้อน แล้วต้มไล่ไอน้ำ ก่อนนำมาทดสอบหาปริมาณยางเหนียว ความหนืด ปริมาณกรดไขมันอิสระ และความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
7. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง
8. ทำการทดลองแบบเดียวกัน แต่เริ่มจากการใช้กรดฟอสฟอริก ร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก กวนผสมเป็นเวลา 15 นาที แล้วตามด้วย น้ำที่ปราศจากไอออน (DI) ปริมาณร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก กวนผสมเป็นเวลา 15 นาที

3.3.4 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

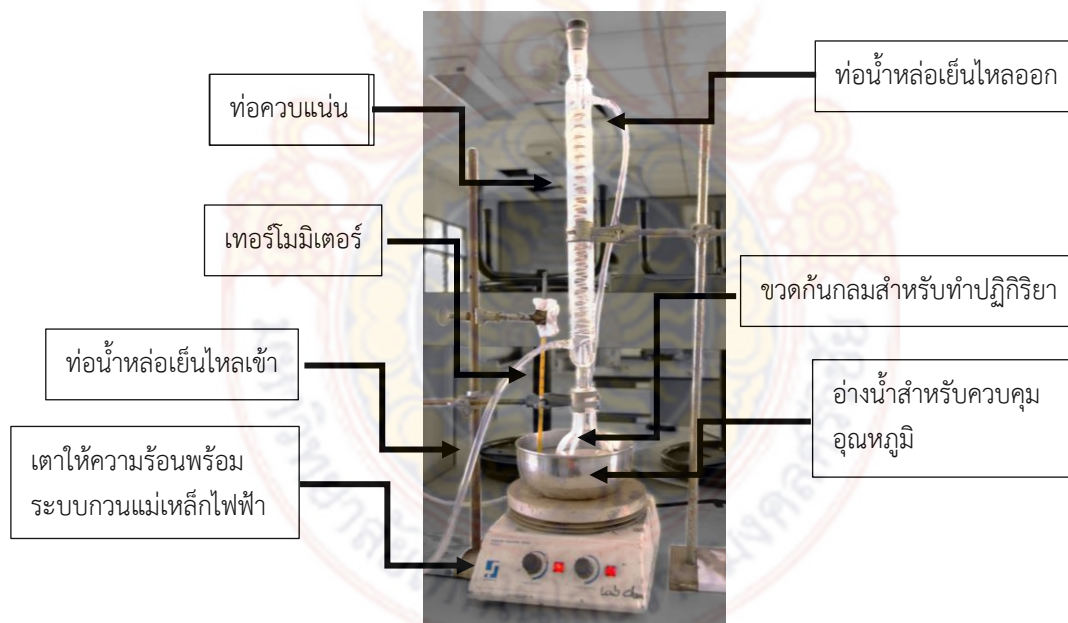
นำน้ำมันดิบที่ไม่ผ่านหรือผ่านการกำจัดยางเหนียวตามข้อ 9.3.2 หรือ 9.3.3 โดยนำน้ำมันปาล์มดิบไปผ่านกระบวนการแยกยางเหนียวและลดครดนำน้ำมันปาล์มดิบไปผ่านกระบวนการแยกยางเหนียว โดยเติมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 ปริมาณร้อยละ 0.10 ของน้ำมันปาล์มดิบ และสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาณร้อยละ 0.02 ของน้ำมันปาล์มดิบ ลงในน้ำมันปาล์มดิบแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พร้อมกวนต่อเนื่อง เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 60 องศาเซลเซียส ปล่อยให้ยางเหนียวตกตะกอน จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 โดยวางสำลีไว้ด้านบนกระดาษกรองเพื่อป้องกันการอุดตันของกระดาษกรอง นำน้ำมันปาล์มที่ได้มาล้างด้วยน้ำร้อนปริมาณ 25 %vol กวน 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน แยกตะกอน แล้วล้างซ้ำจนครบ 4 ซ้ำ อุ่นน้ำมันให้ร้อน 120 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำ ได้น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวสำหรับผลิตไบโอดีเซลต่อไป

สำหรับไบโอดีเซลผลิตด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มดิบกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์ที่เป็นขวดแก้วก้นกลม 3 คอ ที่ต่อกับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์และติดตั้งระบบกวนทำงานภายใต้ความดันบรรยากาศโดยใช้ขวดแก้วก้นกลมขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเครื่องปฏิกรณ์ แชนในน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ 80 ± 5 องศาเซลเซียส โดยให้ความร้อนด้วยเตาให้ความร้อนที่มีระบบกวนด้วยแม่เหล็ก (hot plate with magnetic stirrer) ปิดขวดด้วยท่อควบแน่น (condenser) ที่ต่อเข้ากับระบบน้ำหล่อเย็นซึ่งใช้ปั๊มในการปั้มน้ำเพื่อหล่อเย็นระบบ มีเทอร์โมมิเตอร์สำหรับตรวจสอบอุณหภูมิอุปกรณ์ที่ประกอบเสร็จแล้วจะมีลักษณะดังรูปภาพที่ 3-1 ก่อนเริ่มทำการสังเคราะห์ต้องทำการปรับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ก่อนประมาณ 30 นาที จากนั้น นำน้ำมันปาล์มดิบที่เตรียมไว้แล้วมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิสำหรับปฏิกิริยาก่อนเติมลงในเครื่องปฏิกรณ์ และ ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเมทานอลทำให้

ละลายเข้ากันทั้งหมด แล้วจึงผสมน้ำมันปาล์มดิบอุ่นกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล ใช้เวลา 1 ชั่วโมง และใช้ตัวเร่ง 1 %โดยน้ำหนัก อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลต่อน้ำมันเป็น 20

- (5) เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำสารที่ได้มาใส่กรวยแยกทิ้งไว้ให้แยกชั้น
- (6) นำเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำอุ่นจำนวน 5 รอบ
- (7) นำผลิตภัณฑ์เมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบและปริมาณผลผลิตด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ
- (8) นำไปโอดีเซลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี กายภาพ และเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานต่าง ๆ โดย
 - วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ
 - วิเคราะห์ความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 - วิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM เช่น ความหนืด ความหนาแน่น จุดวาบไฟ

เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ไปเพื่อเลือกระดับการกำจัดยางเหนียวที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 3-1 การต่ออุปกรณ์สำหรับการผลิตไบโอดีเซล

3.3.4 ศึกษาสมบัติของไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผลิตได้

หลังจากแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาให้มีความบริสุทธิ์จากสารปนเปื้อนแล้ว นำมาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี กายภาพ และเชื้อเพลิงของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานต่าง ๆ โดย

(1) วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์ในไบโอดีเซลโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) โดยทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อหาเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Esters, FAMES) โดยใช้สารละลายเมทิลเฮปทาเดคาโนเอท (Methyl heptadecanoate, $C_{18}H_{36}O_2$) เข้มข้น 10 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในตัวทำละลายเฮปเทน เป็นสารมาตรฐาน (Internal standard)

เตรียมสารตัวอย่างโดยการนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ต้องการตรวจสอบปริมาณ 250 มิลลิกรัม ผสมกับสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปทาเดคาโนเอท 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างที่เตรียมไว้ 1 มิลลิลิตร นำไปบรรจุลงในขวด Vial ใส่ตัวอย่างเพื่อทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Clarus 600 GC โดยการตั้งค่าสภาวะที่ใช้ในการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ดังนี้

- ตัวตรวจวัด (Detector) ชนิด FID (Flame Ionization Detector)
- คอลัมน์ (Column) ชนิด Elite-Wax ยาว 30 m x 0.32 mmID 0.25 μ m, Max temp 230°C
- อุณหภูมิของตัวตรวจวัด (Detector) 230°C
- อุณหภูมิที่ฉีดตัวอย่าง (Injector) 230°C ปริมาณการฉีดตัวอย่าง (Injection Volume) 1 ไมโครลิตร รูปแบบการพาสารเข้าคอลัมน์แบบ Split mode ค่าอัตราอยู่ที่ 10 : 1
- ใช้ก๊าซฮีเลียมเป็นตัวพา ด้วยอัตราการไหล 2.00 มิลลิลิตร/นาที ความดันภายในส่วนป้อนตัวอย่าง (Inlet) 16.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
- อัตราการไหลของแก๊สสำหรับจุด flame ไฮโดรเจน (H_2) 45 มิลลิลิตร/นาที และ อากาศ (Air zero) 450 มิลลิลิตร/นาที
- อุณหภูมิของคอลัมน์ (Oven) เริ่มที่ 180 °C ค้างไว้ 2 นาที แล้วเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 10°C/นาที ไปจนถึง 200°C แล้วจึงค้างไว้อีก 6 นาที แล้วเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 7°C/นาที ไปจนถึง 225°C แล้วจึงค้างไว้อีก 20 นาที

เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์จะได้โครมาโทแกรมออกมา จากนั้นนำพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละองค์ประกอบในโครมาโทแกรมมาคำนวณหาปริมาณโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปทาเดคาโนเอทในสมการ

$$\%yield = \frac{SA - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{C_{EI} \times V_{EI}}{m} \times 100\%$$

เมื่อ

SA : พื้นที่ใต้กราฟรวมของเมทิลเอสเทอร์ คัดตั้งแต่ C_8 - $C_{24:1}$

A_{EI} : พื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปทาเดคาโนเอท

C_{EI} : ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปทาเดคาโนเอท(มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)

V_{EI} : ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานเมทิลเฮปทาเดคาโนเอทในตัวอย่างที่ทดสอบ (มิลลิลิตร)

m : น้ำหนักของตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซล (มิลลิกรัม)

(2) วิเคราะห์หาค่ากรดไขมันอิสระ

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 N โดยการชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ไฮดรอกไซด์ 95% จำนวน 5.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร แล้วหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารมาตรฐาน KHP ในการทดสอบค่ากรดไขมันอิสระของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ทำการชั่งน้ำมันที่ต้องการตรวจสอบประมาณ 5 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอน จำนวน 3 ตัวอย่าง ใส่ในขวดชมพู เดิมไอโซโพรพานอล ขวดละ 25 มิลลิลิตร แล้วหยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด นำสารละลายที่ได้ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 N จนได้สารละลายสีชมพู นำค่าที่ได้จากการทดลอง 3 ครั้ง มาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาคำนวณหากรดไขมันอิสระเป็นกรัมของ Oleic /100 g ของน้ำมัน ด้วยสมการ

$$\%FFA = \frac{(\text{ปริมาตรสารละลายต่างที่ใช้ไป})(\text{ความเข้มข้นของสารละลายต่าง})(\text{โมเลกุลของกรดไขมัน})}{\text{น้ำหนักของน้ำมันตัวอย่าง(กรัม)}}$$

เมื่อ

โมเลกุลของกรดไขมัน = 25.6

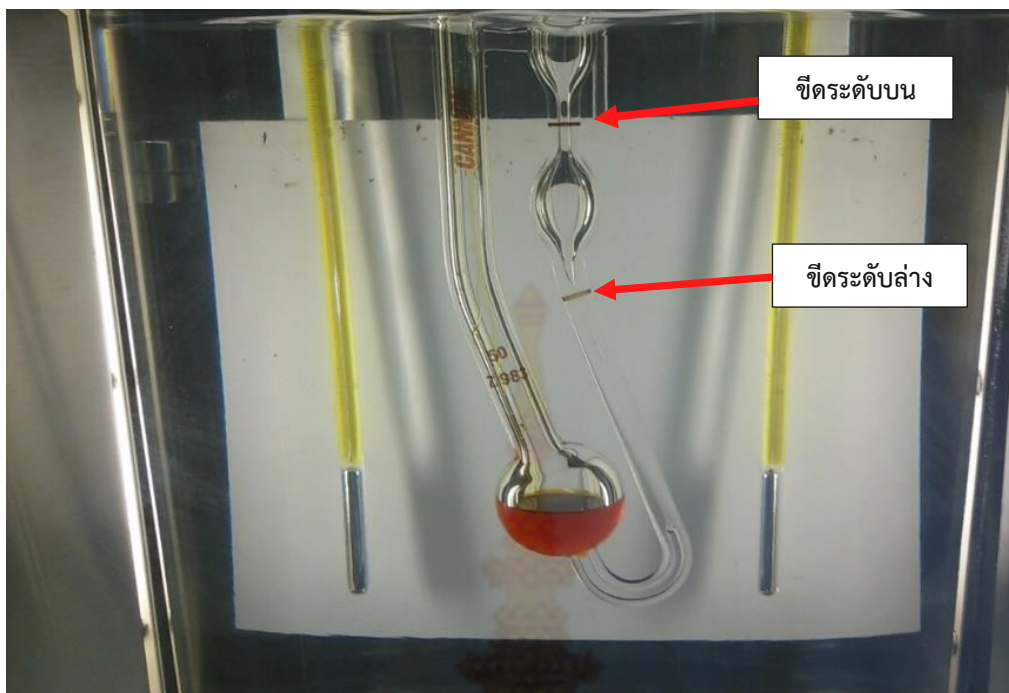
ปริมาตรสารละลายต่างที่ใช้ไป = ค่าสิ้นสุดของไตเตรท - ค่าเริ่มต้นของไตเตรท, mL

ความเข้มข้นของสารละลายต่าง = 0.1 N (จากการหาความเข้มข้นที่แท้จริง)

%FFA = ความเข้มข้นของกรดไขมันอิสระ, %

(3) วิเคราะห์ความหนืด

เป็นการหาค่าความหนืดจลน์ (Kinetic Viscometry) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยการจับเวลาที่ของเหลวจำนวนหนึ่งไหลผ่าน Cannon-Fenske Routine Viscometer ซึ่งเป็นหลอดแก้วเล็กๆ ที่ตรวจสอบความถูกต้องแล้ว (Calibrated Glass Capillary) และสามารถให้ความแม่นยำได้ตามที่กำหนดขนาด 50 และ 200 ในอ่างควบคุมอุณหภูมิสำหรับการทดสอบความหนืด (CT-2000 Constant Temperature Bath) ทำการวัดค่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเปิดเครื่องให้อุณหภูมิคงที่แล้วบรรจุสารตัวอย่างที่มีปริมาตรแน่นอนลงในหลอดวัดความหนืดประมาณครึ่งกระเปาะใหญ่ ทำความสะอาดด้านนอกของหลอด นำหลอดไปประกอบกับตัวจับ ดังภาพที่ 3-2



รูปที่ 3-2 การจัดอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มดิบและโปไอติเซล

แขวนไว้ในอ่างอย่างน้อย 15 นาที ดูดตัวอย่างขึ้นมาทางด้านกระเปาะเล็กโดยใช้ลูกยางเป่าที่ต่อต้านใหญ่หรือดูดที่ด้านเล็ก ให้เลยขีดบอกระดับบนอย่างน้อย 0.5 เซนติเมตร แล้วปล่อยตัวอย่างให้ไหลลงอย่างอิสระ เริ่มจับเวลาเมื่อตัวอย่างถึงขีดบอกระดับบนและหยุดจับเวลาเมื่อผ่านขีดบอกระดับล่าง ควรใช้เวลา 200-600 วินาที ทำการวัดซ้ำ ค่าที่ได้ต้องต่างกันไม่เกิน 0.2% ถ้าเกินต้องวัดค่าใหม่ เมื่อได้ผลต่างกันไม่เกิน 0.2% แล้ว นำมาคำนวณค่าเฉลี่ย แล้วคำนวณค่าความหนืด ความหนืดจลน์ (cSt หรือ mm^2/s) = เวลา (s) \times ค่าคงที่ของหลอด (mm^2/s^2) ค่าคงที่ของหลอดต้องเปิดจาก Certification of Calibration ของแต่ละหลอด และคำนวณค่าความหนืดพลวัต (dynamic viscosity, cP) โดยคูณความหนืดจลน์ด้วยความหนาแน่น ซึ่งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หลอดขนาด 50 และ 200 ที่ใช้ในการทดลอง มีค่าคงที่ $0.003741 \text{ mm}^2/\text{s}^2$, cSt/s และ $0.09813 \text{ mm}^2/\text{s}^2$, cSt/s ตามลำดับ

(4) การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

ดำเนินการหาปริมาณยางเหนียวของน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้นและน้ำมันดิบหลังการกำจัดยางเหนียวที่สถานะต่างๆ ด้วยวิธีการที่ปรับจาก ES ISO 10540-1:2012 ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในไขมันและน้ำมันจากพืชและสัตว์ของเออีโอเปีย โดยอาศัยวิธีด้วยการเปรียบเทียบความเข้มของสี (Colorimetric method) ในการทดสอบจะทำการเผาตัวอย่างให้เป็นถ่าน (carbonized) ในสถานะที่มีสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต (magnesium hydroxycarbonate) แล้วเผาต่อจนเป็นเถ้า จากนั้นละลายเถ้าที่ได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แล้วจึงวิเคราะห์ปริมาณของฟอสฟอรัสจากวิธีการวัดสีของโมลิบดีนัมบลู (molybdenum blue method) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1. แมกนีเซียม ไฮดรอกซีคาร์บอเนต (Magnesium hydroxycarbonate) $[(MgCO_3)_4 \cdot Mg(OH)_2] \cdot 5H_2O$
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 2 mol/l
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 5 mol/l
4. สารละลายสำหรับรีดิวซ์ (Reducing agent) เตรียมโดย ชั่ง พาราเมทิลอมีโนฟีโนลซัลเฟต (p-methylaminophenol sulfate) $[(HOC_6H_4NHCH_3)_2 \cdot H_2SO_4]$ 0.500 กรัม, โซเดียมซัลไฟท์ เฮปทาไฮเดรต ($Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$) 2.5 กรัม และ โซเดียม เมทาไบซัลไฟท์ ($Na_2S_2O_5$) 58.5 กรัม ทำละลายด้วยน้ำ ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บในขวดสีชา ปิดฝาให้สนิท
5. สารละลายซัลเฟต/โมลิบเดต (Sulfate2Molybdate reagent) เตรียมโดยการทำละลาย แอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต $[(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O]$ 25.0 กรัม ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 mol/l ปริมาณ 250 มิลลิลิตร [เตรียมจากการเจือจางกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (18 mol/l) ปริมาณ 278 มิลลิลิตร ด้วยน้ำให้มีปริมาตร 1 ลิตร] จากนั้นนำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำให้ได้สารละลาย 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชา
6. สารละลายโซเดียมอะซิเตต เตรียมโดยทำละลายสารโซเดียมอะซิเตต ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$) 340 กรัม ในน้ำ ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร เก็บในขวดสีชา
7. สารละลายฟอสเฟตมาตรฐาน
 - 7.1 สารละลายฟอสฟอรัสเข้มข้นประมาณ 100 $\mu g/ml$
ชั่งสารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 440 กรัม ละลายด้วยน้ำ ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร คำนวณความเข้มข้นที่แท้จริงตามสมการ

$$\rho = \frac{m_s}{V} \frac{M_p}{M_s}$$

เมื่อ

ρ คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในสารละลาย, ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

m_s คือ มวลของโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, มิลลิกรัม

M_p คือ มวลโมเลกุลของฟอสฟอรัส, กรัม (= 31.03 กรัม)

V คือ ปริมาตรของสารละลาย, ลิตร (= 1 ลิตร)

M_s คือ มวลโมเลกุลของโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต, กรัม ($M_s = 136.09$ กรัม)

7.2 สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน (ความเข้มข้นประมาณ 10 $\mu g/ml$)

ปิเปตสารละลายที่เตรียมในหัวข้อ 7.1 มา 25 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มล. ทำการเจือจางด้วยน้ำ คำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในสารละลายตามสูตร

$$\rho_{s1} = 0.1 \rho$$

เมื่อ

ρ_{s1} คือ ปริมาณของฟอสฟอรัสในสารละลายมาตรฐาน 1, $\mu\text{g/ml}$

ρ คือ ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (ข้อ 7.1), $\mu\text{g/ml}$

ขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาด 25 ml ทำจากโพรซีลีเกต มีฝาปิดแบบเกลียวและมีขีดบอกปริมาตรประมาณช่วงละ 5 ml หรือละเอียดกว่า ซึ่งสามารถบอกปริมาตรได้ถูกต้องในช่วง 15 ml สามารถทนอุณหภูมิ ได้ถึง 550 °C
2. เตาเผาอุณหภูมิสูง สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ และเหมาะสมกับการใช้งานได้ที่อุณหภูมิช่วง 700 °C
3. ที่วางหลอดซึ่งทนอุณหภูมิสูงในเตาเผาได้ โดยเมื่อวางหลอดแล้วปากหลอดจะเอียงในระดับสูงกว่าก้นหลอดไม่น้อยกว่า 3 cm
4. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่สามารถวัดคลื่นแสงในช่วง 720 nm ได้ สามารถใส่เซลล์ขนาด 1 cm ได้
5. เซลล์ของสเปกโตรสโกปีที่มีทางเดินแสง 1 cm และเหมาะสมกับการใช้วัดคลื่นที่ 720 nm

ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อการคำนวณผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

- 1.1 การทดลองหา calibration factor สำหรับตัวอย่างที่มีปริมาณฟอสฟอรัส 0 mg/kg ถึง 125 mg/kg
 - 1) ชั่งน้ำหนัก magnesium hydroxycarbonate ปริมาณ 30 mg ใส่ลงในหลอดทดลอง 7 หลอด
 - 2) ใช้ไมโครบิวเรตหรือปิเปต ตวงสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 1 ใส่ในหลอดทดลองที่ 1 ถึง 7 ด้วยปริมาตร 0 ml (blank), 0.25 ml, 0.5 ml, 1.0 ml, 1.5 ml, 2.0 ml, และ 2.5 ml ตามลำดับ ทำให้ในหลอดทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 0 ถึง 25 μg เทียบเท่ากับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน 0 mg/kg ถึง 125 mg/kg

หมายเหตุ: ค่า Absorbance สูงสุดของหลอดที่มีปริมาณสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน 2.5 ml ควรอยู่ที่ประมาณ 0.8

 - 3) เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 M ลงไปหลอดละ 2 ml รอจนสารละลายใส
 - 4) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 M ลงไปหลอดละ 0.5 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 5) ใช้ปิเปตหรือบิวเรตตวงสารละลายสำหรับปริวิตซ์ตัวอย่างเติมในหลอดสารทั้ง 7 หลอด หลอดละ 5 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 6) จากนั้นเติมสารละลายซัลเฟต/โมลิบเดต ลงไปหลอดละ 2.5 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 7) ปิดฝาหลอด นำไปวางในที่มืด 20 นาที
 - 8) เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตลงในหลอดทดลองให้มีปริมาตรสุดท้าย 15 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 9) วัดค่า Absorbance ที่ 720 nm ของสารละลายเทียบกับ blank หรือ วัด Absorbance ของสารละลายเทียบกับน้ำ เพื่อตรวจสอบ blank ถ้าน้ำเปล่ากับ blank ไม่เท่ากัน ให้ปรับค่าที่วัดได้ด้วย blank
 - 10) ทำการคำนวณ calibration factor ตามหัวข้อ 3.2

1.2 การคำนวณค่า calibration factor

- 1) คำนวณค่า calibration factor ของสารละลายชุดการทดลอง i ในข้อ 3.1 และ 3.2 ด้วยสมการ

$$f_i = \frac{V_i \rho_s}{A_i}$$

เมื่อ f_i คือ ค่า calibration factor ของสารในชุดการทดลอง i, ไมโครกรัม

V_i คือ ค่า calibration factor ของสารในชุดการทดลอง i, มิลลิลิตร

ρ_s คือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในสารละลายฟอสเฟตของสารในชุดการทดลอง i, ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

A_i คือ ค่า Absorbance ที่วัดได้ของสารในชุดการทดลอง i

ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของ f_i เป็นค่า calibration factor ของสารละลาย

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

1. ตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบก่อนการกำจัดยางเหนียวและน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียวที่สภาวะต่างๆ เก็บไว้ในขวดแก้วสีชา
2. เตรียมสารตัวอย่างน้ำมันเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส
 - 1) ชั่งน้ำหนักหลอดทดลองให้ละเอียดถึง 0.1 mg
 - 2) ชั่งสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตประมาณ 30 mg ใส่ในหลอดทดลอง
 - 3) ชั่งน้ำหนักหลอดทดลองพร้อมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตให้ละเอียดถึง 0.1 mg
 - 4) หยดน้ำมันตัวอย่างประมาณ 0.2 g (10-15 หยด) ลงในหลอดทดลอง โดยต้องหยดสารทั้งหมดลงไปทั่วหลอด (ไม่ติดอยู่ที่ด้านข้างของหลอด) และผสมกับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนต
 - 5) ชั่งน้ำหนักหลอดทดลองให้ละเอียด ถึง 0.1 mg
 - 6) เตรียมหลอดเปรียบเทียบ (blank) ด้วยวิธีการเดียวกันแต่ไม่ใส่น้ำมันตัวอย่าง
3. เผาน้ำมันตัวอย่างที่เตรียมไว้ทดสอบปริมาณฟอสฟอรัส
 - 1) นำหลอดตัวอย่างเข้าไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 350°C เป็นระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง จะได้สารสีดำ
 - 2) จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผาเป็น 550°C คงอุณหภูมิไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง
 - 3) เอาหลอดตัวอย่างออกจากเตาเผาและทิ้งไว้ให้เย็น
4. วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง
 - 1) ทำละลายซีเถ้าที่เหลือจากการเผาด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 M ปริมาณ 2 ml พร้อมทำให้ความร้อนจนสารละลายเดือด แล้วทิ้งไว้ให้เย็น
 - 2) ทำการสะเทินโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 M ลงไปหลอดละ 0.6 ml
 - 3) เติมสารละลายรีตีวซ์ลงไปหลอดละ 5 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 4) เติมสารละลายซิลเฟต/โมลิบเดต ลงไปหลอดละ 2.5 ml ผสมให้เข้ากัน
 - 5) เปิดฝาหลอดทดลองแล้วนำไปเก็บในที่มืด 20 นาที
 - 6) เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตจนสารละลายทั้งหมดมีปริมาตรรวมเป็น 15 ml

7) วัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลาย blank ที่ความยาวคลื่น 720nm

8) วัดค่าการดูดกลืนแสงน้ำเปล่าเทียบกับ blank ทำการปรับค่า

หมายเหตุ ถ้าวัดค่าการดูดกลืนมีค่าสูงกว่าของสารละลายมาตรฐาน (0.8) ต้องทำการเจือจางและวัดใหม่

ขั้นตอนการคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันตัวอย่าง

คำนวณปริมาณฟอสฟอรัสด้วยสมการ

$$w_p = \frac{f \cdot A}{m}$$

เมื่อ w_p คือ ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่างที่ทดสอบ, มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

f คือ ค่า calibration factor เฉลี่ย

A คือ ค่าดูดกลืนแสงที่สกัดได้ของสารตัวอย่าง

m คือ มวลของสารตัวอย่าง, กรัม



4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การกำจัดยางเหนียวจากน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันพืชที่มีปริมาณฟอสฟอไลปิดปนเปื้อนอยู่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับน้ำมันจากเมล็ดพืชอื่นๆ เช่น ถั่วเหลือง รำข้าว ทานตะวัน หรือน้ำมันจากสาหร่าย แต่อย่างไรก็ตามฟอสฟอไลปิดที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันปาล์มก็ส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำมันและกระทบต่อการนำเข้ากระบวนการแปรรูปต่อไป ดังนั้นจึงศึกษาการกำจัดยางเหนียวออกจากน้ำมันปาล์มดิบดังต่อไปนี้

4.1.1 การกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำร้อน

น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ในการศึกษานี้มาจากแหล่งผลิตและช่วงเวลาที่หลากหลายเมื่อทำการวัดปริมาณยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบก่อนผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียวในรูปของปริมาณฟอสฟอรัส ซึ่งวิเคราะห์ด้วยการนำน้ำมันที่ต้องการทดสอบประมาณตัวอย่างละ 0.2 กรัม และ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์คาร์บอเนตประมาณ 30 mg ใส่ในหลอดทดลอง แล้วนำไปเผาในเตาเผาไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4-1 ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งสารตัวอย่างในหลอดจะเปลี่ยนเป็นตะกอนสีดำ จากนั้นเผาต่อที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อีก 1 ชั่วโมง ได้เป็นขี้เถ้าสีขาว ดังรูปที่ 4-2 โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการเตรียมสาร 3 ซ้ำ เพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องมากที่สุด



รูปที่ 4-1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันสำหรับการเผาในเตาเผาเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส



รูปที่ 4-2 ลักษณะของซีเถ้าสีขาวที่ได้จากการเผาน้ำมันตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

จากนั้นนำซีเถ้าที่ได้มาเตรียมเป็นสารละลายเพื่อทำการวัดค่าด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยทำละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 M ปริมาณ 2 ml พร้อมให้ความร้อนจนสารละลายเดือด แล้วทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นทำการสะเทินโดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 M ลงไปหลอดละ 0.6 ml แล้วเติมสารละลายรีดิวซ์ลงไปหลอดละ 5 ml ผสมให้เข้ากัน ตามด้วยสารละลายซัลเฟต/โมลิบเดต ลงไปหลอดละ 2.5 ml ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเปิดฝาหลอดทดลองแล้วนำไปเก็บในที่มืด 20 นาที แล้วจึงเติมสารละลายโซเดียมอะซิเตตจนสารละลายทั้งหมดมีปริมาตรรวมเป็น 15 ml สารละลายที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 4-3 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับสารละลาย blank ที่ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงน้ำเปล่าเทียบกับ blank นำค่าการดูดกลืนของสารตัวอย่างทั้ง 3 ซ้ำ มาหาค่าความเข้มข้นโดยใช้แฟคเตอร์ที่ได้จากสารละลายมาตรฐาน แล้วนำความเข้มข้นที่ได้มาหาค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเฉลี่ยในแต่ละตัวอย่างน้ำมันในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบอยู่ที่ 79.10 - 352.42 mg/kg ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ปริมาณยางเหนียวที่ปรากฏในน้ำมันดิบแตกต่างกันไปตามแหล่งผลิตและช่วงเวลาที่ได้มา แม้ตัวอย่างที่ได้มาจากโรงงานเดียวกันแต่ต่างรอบการผลิตก็มีปริมาณบางเหนียวแตกต่างกัน นอกจากนี้โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบบางโรงมีกระบวนการที่บีบน้ำมันเพิ่มจากทะเลาะปาล์มเปล่าที่มีปริมาณน้ำมันปนเปื้อนสูงเพื่อทำให้มีปริมาณผลผลิตของโรงงานสูงขึ้นแต่น้ำมันส่วนนี้จะมีปริมาณยางเหนียวสูงมาก ซึ่งโรงงานต้องนำน้ำมันดังกล่าวมากำจัดยางเหนียวก่อนผสมเข้ากับน้ำมันจากผลปาล์มแล้วจำหน่ายไปยังโรงกลั่นต่อไป การทำเช่นนี้จะส่งผลให้น้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณยางเหนียวสูงกว่าปกติ



รูปที่ 4-3 ลักษณะของสารละลายที่นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 720 นาโนเมตร เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากโรงงานมาทำการกำจัดยางเหนียวโดยผสมกับน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 50 °C ปริมาณร้อยละ 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 โดยน้ำหนัก ทำการกวนเป็นระยะเวลา 30 นาที จะเกิดตะกอนสีดำปนอยู่ในน้ำมันดังรูปที่ 4-4 ตะกอนสีดำที่ปรากฏในน้ำมันนี้คือยางเหนียว ซึ่งเป็นโมเสลที่เกิดจากฟอสโฟลิปิดที่ล้อมรอบด้วยสารที่ไม่ชอบน้ำทำให้เป็นอนุภาคขนาดใหญ่แยกตัวออกจากน้ำมัน ซึ่งอาจตกตะกอนแยกออกจากน้ำมันได้เมื่อมีเวลามากพอ แต่ในอุตสาหกรรมนิยมกรองหรือเหวี่ยงแยกเพื่อให้ใช้เวลาอันน้อยลง ในการศึกษาี้ทำการแยกยางเหนียวออกโดยการกรองด้วยกระดาษกรอง ลักษณะตะกอนสีดำของยางเหนียวที่กรองแยกออกมาบนกระดาษกรองดังแสดงใน รูปที่ 4-5 ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไปตามปริมาณน้ำที่ใช้ในการกำจัดยางเหนียว น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวจะมีลักษณะเป็นของเหลว ดังรูปที่ 4-6 ซึ่งจะมีลักษณะหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดยางเหนียว



รูปที่ 4-4 ลักษณะการเกิดยางเหนียวในตัวอย่างน้ำมันหลังที่กวนผสมด้วยน้ำร้อนร้อยละ 5.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

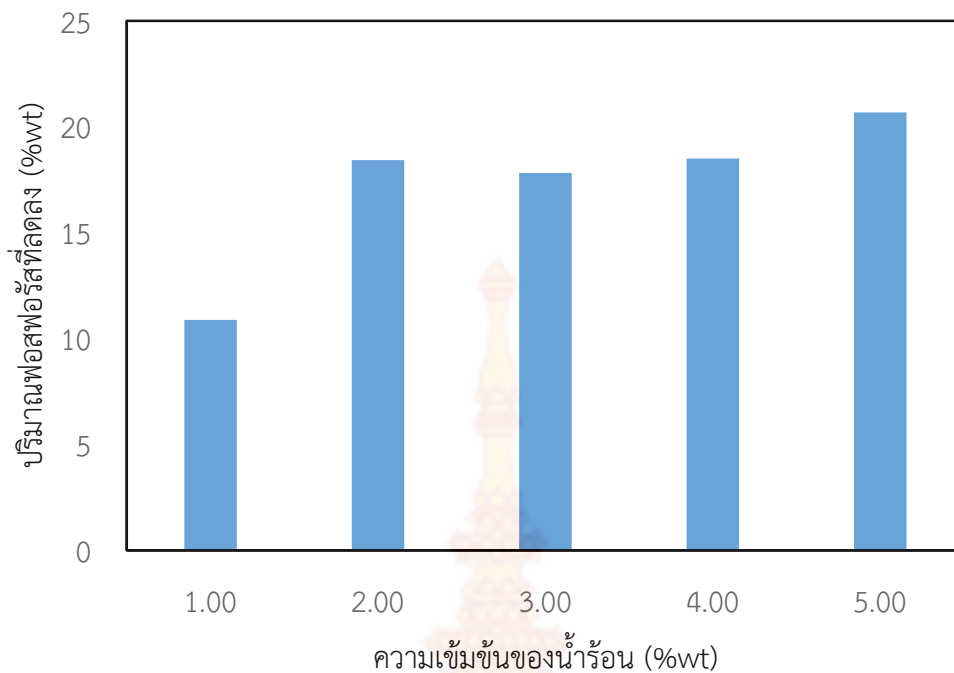


รูปที่ 4-5 ยางเหนียวที่กรองได้จากน้ำมันหลังผ่านการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 0.0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที



รูปที่ 4-6 น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1.0, 2.0 และ 5.0 โดยน้ำหนัก ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที

เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียว สามารถคำนวณหาร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลงจากน้ำมันดิบเริ่มต้นได้ดังแสดงใน รูปที่ 4-7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 50 °C จะทำให้ส่วนประกอบของน้ำมันในรูปของฟอสโฟลิปิดตกตะกอนแยกตัวออกจากน้ำมันในรูปของยางเหนียวสีคล้ำ ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันมีปริมาณลดลง การใช้น้ำร้อน 2.0 ถึง 5.0 %wt สามารถกำจัดยางเหนียวได้ปริมาณใกล้เคียงกัน ที่ประมาณร้อยละ 20 คาดว่าในน้ำมันปาล์มดิบมีฟอสโฟลิปิดที่สามารถไฮโดรไลต์ด้วยน้ำได้อยู่ปริมาณจำกัด และภายใต้อุณหภูมิ 50 °C จะมีสมดุลของการเกิดไฮโดรไลชันของฟอสโฟลิปิดที่เกิดไฮโดรไลชันด้วยน้ำอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 เท่านั้น

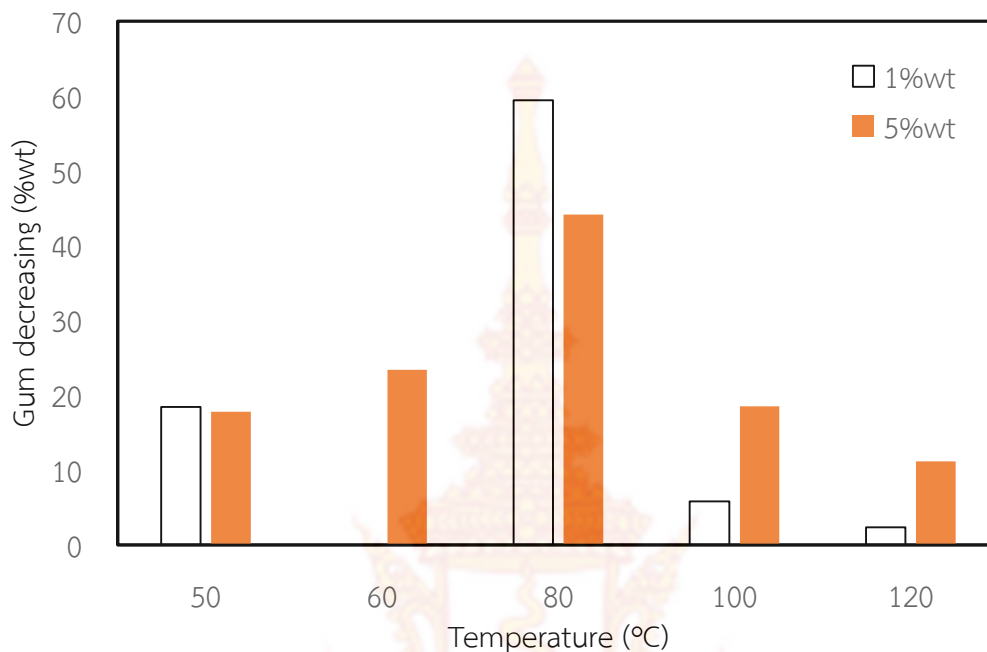


รูปที่ 4-7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถกำจัดได้โดยการกำจัดอย่างเหนียวด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที

ผลการทดสอบการใช้น้ำอุ่นเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในรูป 4-8 ซึ่งให้เห็นว่าอย่างเหนียวในน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันด้วยน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดปริมาณอย่างเหนียวในน้ำมันดิบได้ถึงร้อยละ 60 การใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ทำให้กำจัดอย่างเหนียวได้น้อย แต่การเพิ่มอุณหภูมิให้สูงถึง 100 องศาเซลเซียสก็ลดฟอสฟอรัสได้น้อยลง สังเกตได้จากปริมาณฟอสฟอรัสที่กำจัดได้น้อยลงเมื่อทำการกำจัดอย่างเหนียวที่อุณหภูมิ 100 °C ซึ่งยังไม่มีข้อยืนยันที่แน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด แต่มีความเป็นไปได้ว่าโครงสร้างของฟอสโฟลิปิดจะมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยโครงสร้างของไมเซลที่ก่อตัวจากการเกิดไฮเดรชันกับน้ำแล้วแยกตัวออกจากน้ำเสียสภาพไปบางส่วนทำให้ไม่แยกตัวออกจากน้ำมัน ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันสูงกว่ากรณีที่ใช้อุณหภูมิ 80 °C และยิ่งใช้อุณหภูมิสูงขึ้นก็ยิ่งกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำมันได้น้อยลง นอกจากนี้การใช้น้ำร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 °C ขึ้นไปจะทำให้สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่าการใช้น้ำเพียงร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทดลองทำการกำจัดอย่างเหนียวด้วยน้ำที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C พบว่าทำให้น้ำมันปาล์มดิบกลายเป็นของเหลวสีดำและไม่สามารถกรองแยกออกมาได้ สอดคล้องกับปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกำจัดอย่างเหนียวที่ลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไม่ควรใช้อุณหภูมิเกิน 100 °C ในการกำจัดอย่างเหนียวออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

ข้อมูลจากรูป 4-7 ชี้ให้เห็นว่าการที่มีตะกอนสีดำมากขึ้นในอุณหภูมิที่สูงกว่า 80 องศาเซลเซียสนั้น ไม่ได้เกิดจากการกำจัดฟอสฟอรัสมากขึ้น แต่เกิดจากการที่น้ำมันแตกตัวมากขึ้นและรวมกับสารประกอบฟอสโฟลิปิดปริมาณหนึ่ง ทำให้เกิดเป็นยางเหนียวสีดำตกตะกอนแยกออกมาจากน้ำมัน แต่กลับยังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสอีกปริมาณมากอยู่ในน้ำมัน ซึ่งอาจจะยังเป็นฟอสโฟลิปิดหรืออาจเกิดการ

เสียดสภาพเป็นสารสีดำขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในน้ำมัน ไม่สามารถกรองออกด้วยกระดาษกรองที่ใช้ในการศึกษาทำให้น้ำมันมีสีเข้มขึ้นแต่ก็ยังคงมีลักษณะใส

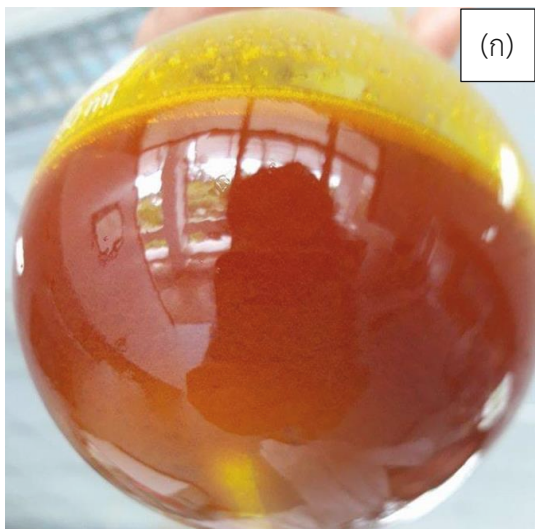


รูปที่ 4-8 ผลของอุณหภูมิความร้อนต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถกำจัดได้โดยการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ เป็นระยะเวลา 30 นาที

4.1.2 การกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบด้วยสารละลายกรดฟอสฟอริก

เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-120 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบโดยการกำจัดยางเหนียวด้วยฟอสฟอริกร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก กวนผสมเป็นเวลา 30 นาที น้ำมันที่ได้หลังการกวนผสมจะมีลักษณะสีเข้มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-9 ซึ่งสีที่เข้มขึ้นนั้นเป็นสีของยางเหนียวที่เกิดเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้น

เมื่อนำน้ำมันมากรองแยกยางเหนียว พบลักษณะยางเหนียวที่กรองแยกได้ดังรูปที่ 4-10 ซึ่งปริมาณตะกอนสีดำจะเกิดมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ของแข็งสีดำลักษณะคล้ายเจลนี้คือยางเหนียวซึ่งเป็นองค์ประกอบที่รวมตัวเป็นไมเซลล์ขนาดใหญ่แยกตัวออกจากน้ำมัน เมื่อกรองแยกแล้วลองนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนเพื่อไล่ความชื้นพบว่าไม่สามารถกำจัดของเหลวที่ปนเปื้อนได้ คาดว่าจะเป็นน้ำมันส่วนที่ติดมากับองค์ประกอบของยางเหนียวซึ่งจะมีมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำมันได้ นอกจากนี้น้ำมันที่ได้หลังการกรองแยกจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้น



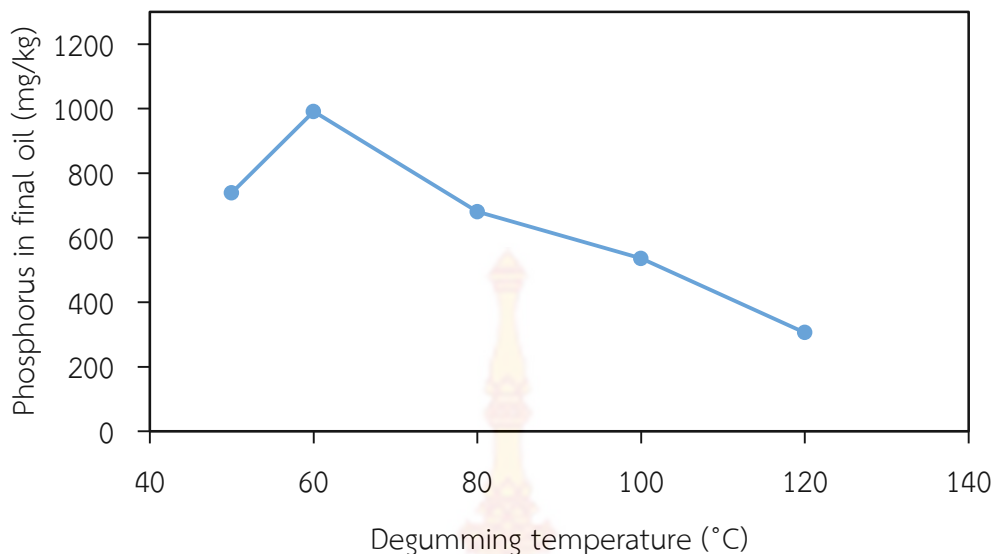
รูปที่ 4-9 น้ำมันปาล์มดิบที่กวนผสมกับกรดฟอสฟอริกร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ก) และ 80 องศาเซลเซียส (ข) เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 4-10 ลักษณะของยางเหนียวที่กรองแยกได้จากการกำจัดด้วยฟอสฟอริกร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 50, 60, 80, 100, และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อนำน้ำมันที่กรองแยกยางเหนียวซึ่งมีลักษณะเป็นตะกอนสีดำออกแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส ได้ผลดัง รูปที่ 4-11 ซึ่งพบว่าปริมาณของฟอสฟอรัสลดลงหลังการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิแตกต่างกันเป็นระยะเวลา 30 นาที มีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ การเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 °C เป็น 60 °C สามารถช่วยกำจัดยางเหนียวได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกำจัดยางเหนียวถึง 80 °C พบว่าสามารถกำจัดยางเหนียวได้เพิ่มขึ้นถึงประมาณร้อยละ 60

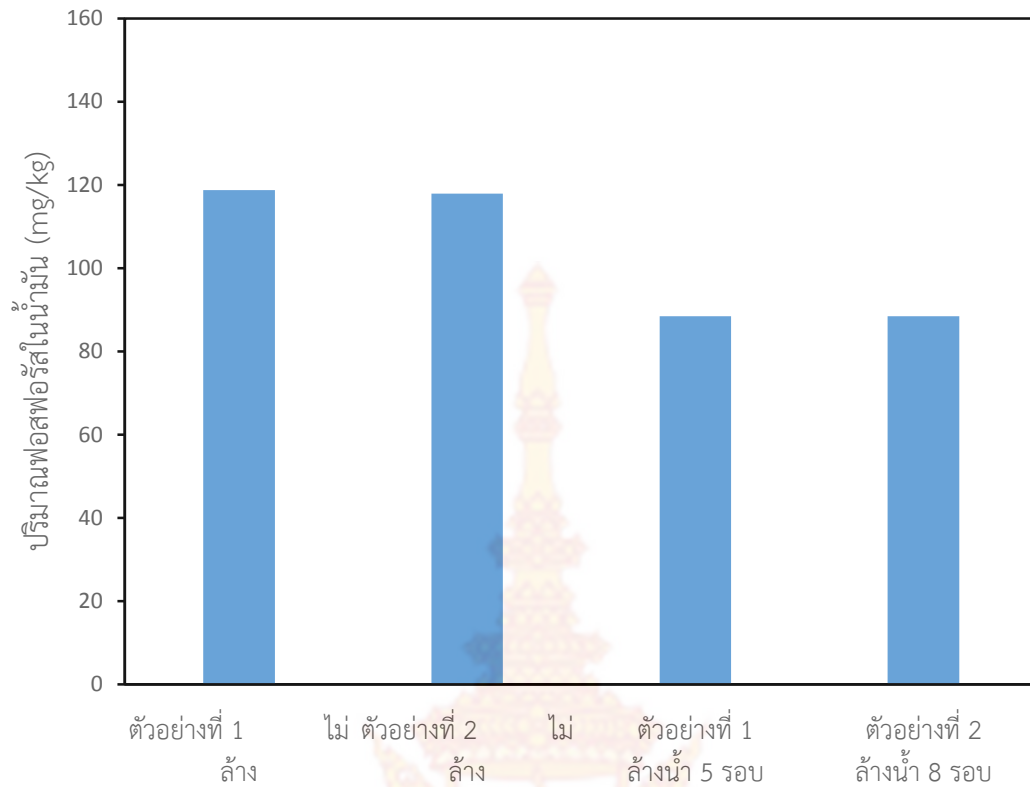
เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 80 °C แล้วผสมกับกรดฟอสฟอริกในปริมาณร้อยละ 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 หรือ 2.00 % ทำการกวนผสมที่อุณหภูมิคงที่เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นนำมากรองแยกยางเหนียวสีดำที่เกิดขึ้น นำน้ำมันที่ได้ผสมน้ำอุ่นแล้ววางไว้ให้แยกชั้นเพื่อกำจัดกรดฟอสฟอริกที่เหลืค้างในน้ำมันออก ผลของการล้างต่อปริมาณฟอสฟอริกที่เปลี่ยนแปลงไปของการใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.75 ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที แสดงในรูปที่ 4-12 ซึ่งจะเห็น



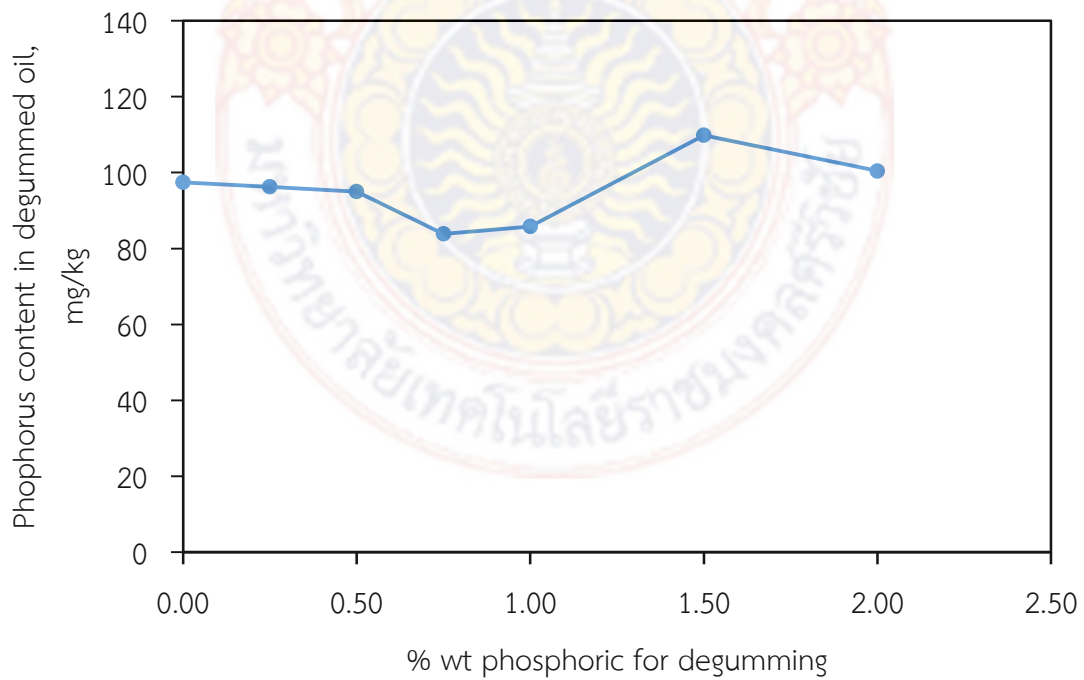
รูปที่ 4-11 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกำจัดยางเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริก 5% เป็นระยะเวลา 30 นาที กรณีไม่มีการล้างน้ำมันตัวอย่าง

ได้ว่า การกรองเอายางเหนียวที่เกิดขึ้นออกจากกระบวนการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกนั้นไม่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบได้ แต่กลับมีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากกรดฟอสฟอริกที่เติมลงไปแล้วผสมปนอยู่ในน้ำมัน การล้างด้วยน้ำโดยการผสมน้ำอุ่นลงไปใส่น้ำมันแล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้นน้ำออกจากน้ำมัน ฟอสฟอรัสจะละลายไปในส่วนของน้ำ เมื่อทำการล้างน้ำพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันจะเหลือน้อยลงตามจำนวนครั้งของการล้าง ผลการล้างซ้ำตั้งแต่รอบที่ 5 เป็นต้นไปจะมีปริมาณฟอสฟอรัสคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-12 ในการศึกษาต่อจากนี้จะทำการล้าง 5 ครั้ง เป็นที่น่าสังเกตว่า การกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกจะต้องมีกระบวนการล้างด้วยน้ำหลายครั้งเพื่อกำจัดฟอสฟอริกที่เกินซึ่งทำให้เกิดความสิ้นเปลืองและยุ่งยากในการปฏิบัติงาน หลังการล้างน้ำทำให้น้ำมันมีความชื้นสูงขึ้น จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นตอนการต้มน้ำมันเพื่อลดความชื้นในน้ำมันดิบอีกรอบ เราจึงจำเป็นต้องหาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดยางเหนียวออกจากน้ำมันปาล์มดิบเพื่อให้เกิดประสิทธิผลและมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

การทดสอบผลของปริมาณกรดฟอสฟอริกต่อการกำจัดยางเหนียวที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที ต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบแสดงในรูปที่ 4-13 มีการนำน้ำมันดิบเริ่มต้นมาทดสอบโดยการกวนผสมที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที เป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าการเติมกรดฟอสฟอริกลงในน้ำมันดิบช่วยให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบมีค่าลดลง แต่การใช้กรดฟอสฟอริกเกินร้อยละ 0.75 ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในผลิตภัณฑ์มีค่าสูงขึ้น อาจเป็นผลจากการที่มีฟอสฟอรัสเหลือตกค้างในน้ำมันมากขึ้น ซึ่งเป็นฟอสฟอรัสที่ไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำอุ่น

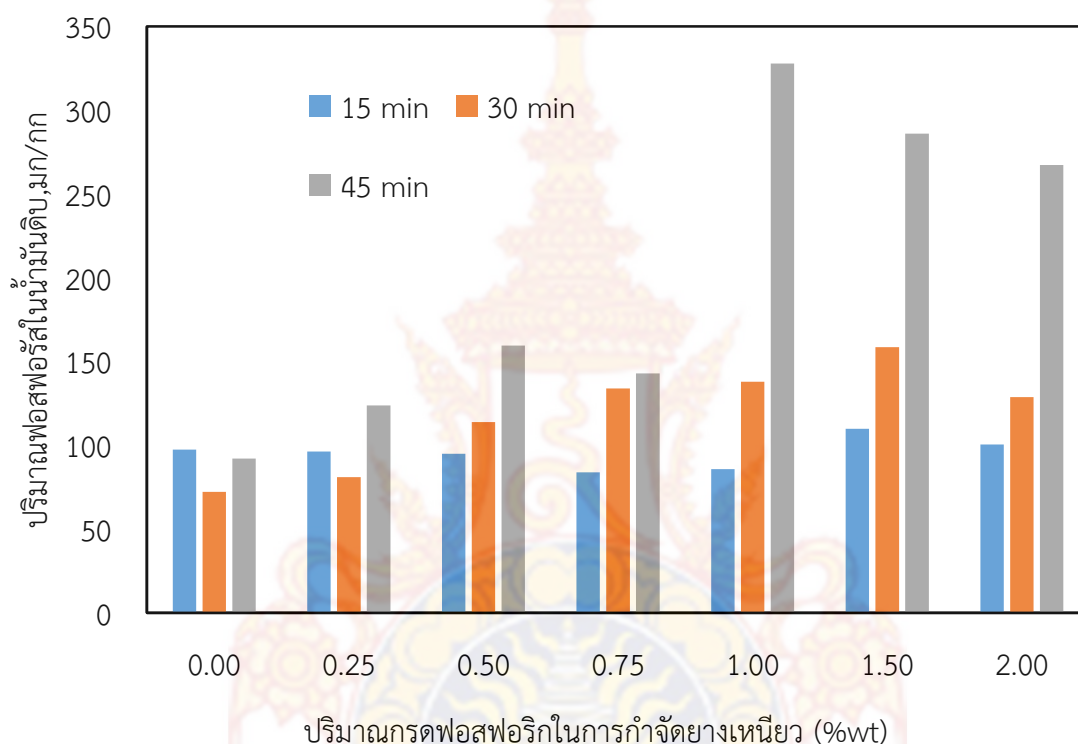


รูปที่ 4-12 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.75% ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที แล้วทำการล้างด้วยน้ำอุ่นเป็นจำนวนรอบแตกต่างกัน



รูปที่ 4-13 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที

ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อประสิทธิภาพในการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก แสดงในรูปที่ 4-14 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที, 30 นาที, และ 45 นาที ตามลำดับ ทุกตัวอย่างผ่านการล้างด้วยน้ำอุ่นจำนวน 5 รอบ



รูปที่ 4-14 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นระยะเวลา 15 นาที, 30 นาที และ 45 นาที

จากผลการทดลองที่อุณหภูมิ 80°C พบว่าการให้ความร้อนแก่น้ำมันที่ไม่เติมฟอสฟอริกเป็นระยะเวลา 30 นาที มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด สาเหตุที่น้ำมันมีปริมาณฟอสฟอรัสลดลงเมื่อให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวอาจเกิดจากการมีความชื้นปนเปื้อนอยู่ในน้ำมัน เมื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันน้ำปริมาณดังกล่าวเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบยางเหนียวน้ำมันแล้วเกิดการตกตะกอนออกจากน้ำมัน ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันลดลง แต่การให้ความร้อนนานถึง 45 นาที จะทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แสดงว่าปริมาณตะกอนที่เกิดมีปริมาณลดลง

การกำจัดยางเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.25 % เป็นเวลา 15 นาที และ 30 นาที ให้ผลไม่ต่างจากกรณีไม่ใช้กรด แต่การเพิ่มระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียวเป็น 45 นาที จะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มสูงขึ้นกว่าน้ำมันดิบเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าภายใต้อุณหภูมิดังกล่าวจะมี

ปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดขึ้น กล่าวคือ มีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันปาล์มดิบกับกรดฟอสฟอริก ได้เป็นฟอสโฟลิปิดที่ละลายในน้ำมันได้ดี ไม่แยกตัวออกจากรวมและไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้เหมือนกรดฟอสฟอริก และผลผลิตของปฏิกิริยาดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา ซึ่งเห็นได้ชัดมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกเป็น 0.50% ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันเพิ่มขึ้นหลังการใช้ระยะเวลาในการกำจัดยางเหนียวเพียง 30 นาที และกรณีการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 1.50 จะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าในน้ำมันดิบเริ่มต้นแม้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพียง 15 นาที เท่านั้น

การใช้เวลาในการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกนานเกิน 15 นาที ส่งผลเสียต่อน้ำมันเป็นอย่างยิ่ง โดยพบว่าเมื่อใช้ปริมาณกรดฟอสฟอริกเกิน 0.50 %wt ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันเพิ่มขึ้นตามปริมาณกรดฟอสฟอริกที่เติมลงไป ซึ่งสอดคล้องกับการทำงานในอุตสาหกรรมที่ไม่สามารถใช้กรดฟอสฟอริกปริมาณมากในการกำจัดยางเหนียวได้ เนื่องจากทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นสาเหตุของการมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้นน่าจะเนื่องมาจากกรดฟอสฟอริกที่เติมลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับฟอสโฟลิปิดกลุ่มที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮดรอลิซิสกับน้ำได้นั้นมีปริมาณเกินพอ ทำให้กรดฟอสฟอริกทำปฏิกิริยากับน้ำมันเกิดเป็นฟอสโฟลิปิดละลายอยู่ในน้ำมันเพิ่มมากขึ้น เมื่อกรองเอายางเหนียวที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกซึ่งเกิดเป็นไมเซลล์แล้วตกตะกอนลงด้านล่างออกและทำการล้างกรดฟอสฟอริกที่เหลือออกด้วยน้ำอุ่นแล้วพบว่ายังคงมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าน้ำมันเริ่มต้นและสูงขึ้นตามระยะเวลาของกระบวนการกำจัดยางเหนียว นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันหลังการกรองเอายางเหนียวออก แต่ไม่ได้ล้างด้วยน้ำอุ่น ฟอสฟอรัสที่วัดได้นี้เป็นปริมาณฟอสฟอริกที่เหลือและฟอสโฟลิปิดที่ไม่สามารถล้างออกได้ด้วยน้ำอุ่น

การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อการกำจัดยางเหนียวพบว่าการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก 5% ที่อุณหภูมิ 50-120 °C เป็นระยะเวลา 30 นาที ได้ผลดังรูปที่ 4-14 ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสที่กำจัดได้ด้วยวิธีการกรองออกมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดยางเหนียวตั้งแต่ 60-120 °C อย่างไรก็ตาม น้ำมันที่กำจัดยางเหนียวด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 100 °C มีสภาพเป็นของเหลวที่มีตะกอนขนาดเล็กสีดำที่กรองแยกไม่ได้ปนอยู่ปริมาณมาก จึงควรใช้อุณหภูมิในการกำจัดยางเหนียว 60-80 °C

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดยางเหนียวน่าจะเป็นปฏิกิริยาแข่งขันระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของฟอสโฟลิปิดในน้ำมันกับกรดฟอสฟอริกและ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสฟอริกกับไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเกิดเป็นฟอสโฟลิปิดที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในน้ำมัน โดยปฏิกิริยาการกำจัดยางเหนียวเกิดได้อย่างรวดเร็วในตอนต้น สำหรับการกำจัดยางเหนียวที่อุณหภูมิ 80°C กรณีใช้กรดปริมาณน้อยเพียง 0.25%wt จะถึงสมดุลหลัง 30 นาที แต่ไม่ถึง 45 นาที กรณีที่ใช้กรดฟอสฟอริกตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ขึ้นไป จะถึงสมดุลในระยะเวลาไม่ถึง 30 นาที ซึ่งในที่ได้ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 15 นาที และพบว่าควรใช้กรดเข้มข้นไม่เกิน 1.00%

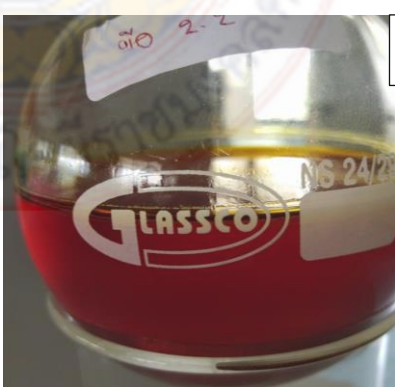
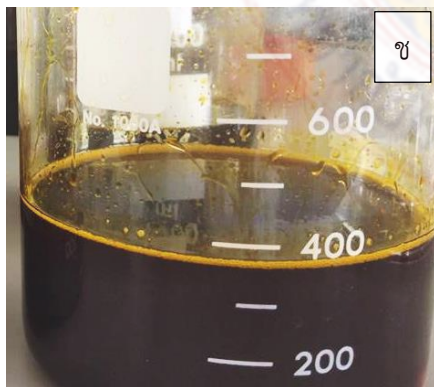
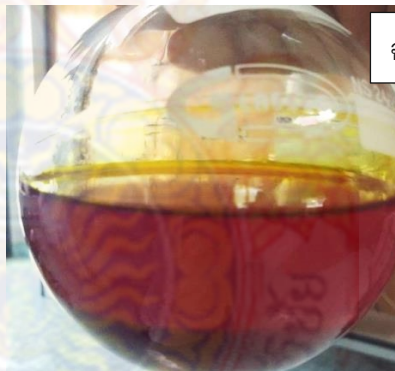
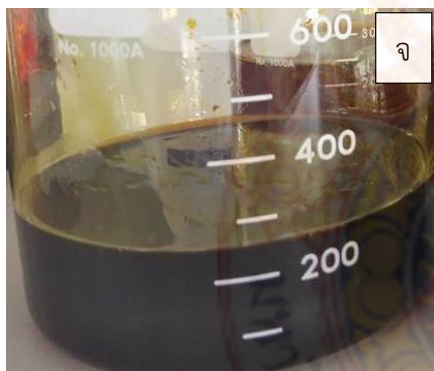
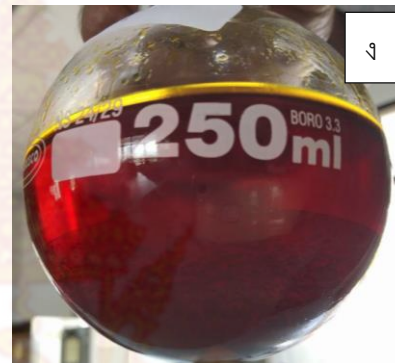
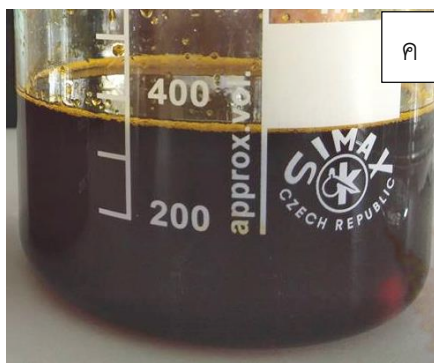
4.1.3 ผลของการใช้น้ำร้อนและกรดฟอสฟอริกร่วมกันในการกำจัดยางเหนียว

ทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วผสมกับกรดฟอสฟอริกในปริมาณร้อยละ 0.00, 0.25, 0.50, 0.75 หรือ 1.00 โดยน้ำหนัก ทำการกวนผสมที่อุณหภูมิคงที่เป็นระยะเวลา 15

นาที จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละ 0 หรือ 1 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 15 นาที หรือ 30 นาที นำมากรองแยกยางเหนียวสีดำที่เกิดขึ้นออก แล้วล้างด้วยน้ำอุ่น จากนั้นน้ำมันที่ได้มาต้มเพื่อกำจัดความชื้น แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันตัวอย่าง ซึ่งมีชุดการทดสอบดังตารางที่ 4-1 ลักษณะของน้ำมันที่ทำการกำจัดยางเหนียวด้วยวิธีการชุดที่ 1-4 ซึ่งเป็นการทดสอบผลของลำดับโดยชุดที่ 1 และ 2 เป็นการบำบัดด้วยกรดฟอสฟอริกตามด้วยน้ำอุ่น และชุดที่ 3 และ 4 เป็นการบำบัดด้วยน้ำอุ่นแล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก แสดงในรูปที่ 4-15 จะเห็นว่าน้ำมันที่ทำการแยกยางเหนียวจะมีสีเข้มขึ้นและมีตะกอนสีดำแยกออกมาในระหว่างการกำจัด เมื่อนำน้ำมันดังกล่าวไปกรองแยกทำการล้างกรดฟอสฟอริกและกำจัดน้ำด้วยการต้มแล้วจะได้น้ำมันปาล์มดิบ หลังจากการกำจัดยางเหนียวมีลักษณะใสดังแสดงในรูปที่ 4-16

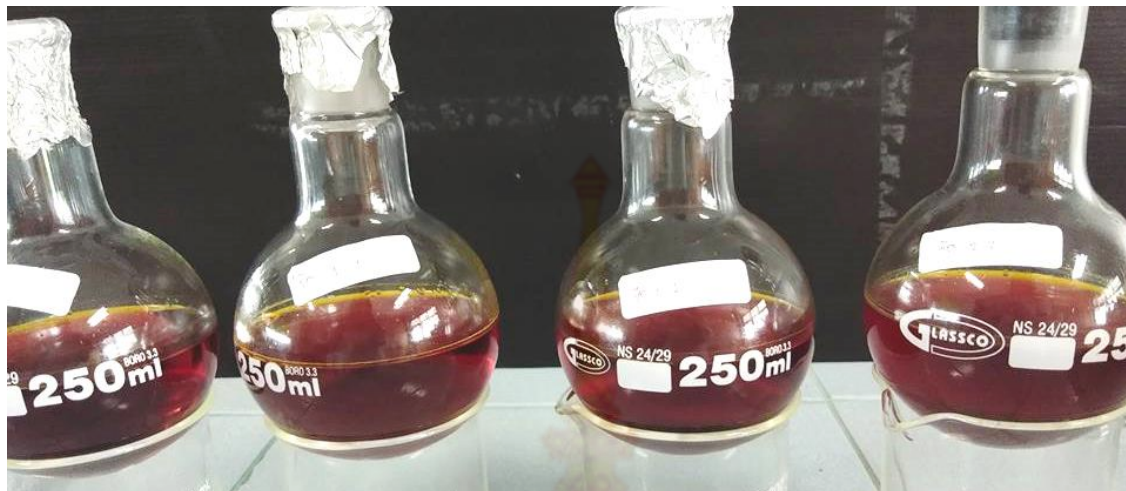
ตารางที่ 4-1 การทดสอบผลการกำจัดยางเหนียวโดยใช้กรดฟอสฟอริกร่วมกับน้ำร้อน

ชุด	ขั้นตอน	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้มข้น (%wt)	เวลา (นาที)
1	1) บำบัดด้วยกรดฟอสฟอริกแล้วกรองแยกยางเหนียว	80	0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00	15, 30
	2) บำบัดยางเหนียวด้วยน้ำอุ่น	80	0.00, 1.00	15, 30
2	1) บำบัดด้วยกรดฟอสฟอริก ไม่กรองแยกยางเหนียว	80	0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00	15, 30
	2) บำบัดยางเหนียวด้วยน้ำอุ่น	80	0.00, 1.00	15, 30
3.	1) บำบัดยางเหนียวด้วยน้ำอุ่น กรองแยกยางเหนียว	80	0.00, 1.00	15, 30
	2) บำบัดด้วยกรดฟอสฟอริก	80	0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00	15, 30
4.	1) บำบัดยางเหนียวด้วยน้ำอุ่น ไม่กรองแยกยางเหนียว	80	0.00, 1.00	15, 30
	2) บำบัดด้วยกรดฟอสฟอริก	80	0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00	15, 30



รูปที่ 4-15 การกำจัดยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบแบบ 2 ขั้นตอน (ก-ข) กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1 %wt 15 นาที (ค-ง) กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที

(จ-ฉ) กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ (ซ-ซ) กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที



รูปที่ 4-16 ลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1 %wt 15 นาที, น้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที, กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที ตามลำดับ

ผลของการใช้น้ำและกรดฟอสฟอริกในการกำจัดยางเหนียวทำโดยใช้น้ำร้อนร้อยละ 1-2 โดยน้ำหนัก เติมลงไปนํ้ามันปาล์มดิบ ซึ่งฟอสฟอไลต์ประเภทที่ไฮเดรตด้วยน้ำ (HPL) จะสามารถถูกกำจัดออกในขั้นตอนนี้ ส่วนการเติมกรดฟอสฟอริกจะเป็นการกำจัดฟอสฟอไลต์ประเภทที่ไม่สามารถไฮเดรตด้วยน้ำ (NHPL) ซึ่งการวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของลำดับในการเติมสารเคมี พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้ผลดังตาราง 4-2

ตาราง 4-2 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น ของกรด ฟอสฟอริก (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบหลักแยกยางเหนียว (mg/kg)			
	น้ำร้อน 15 นาที		น้ำร้อน 30 นาที	
	ฟอสฟอริก 15 นาที	ฟอสฟอริก 30 นาที	ฟอสฟอริก 15 นาที	ฟอสฟอริก 30 นาที
0.00	173	90	116	111
0.25	149	134	101	97
0.50	191	110	115	197
0.75	218	100	123	139
1.00	194	141	107	146

ซึ่งพบว่าการใช้น้ำร้อนแล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกจะทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบ ลดลงได้มากกว่าการใช้น้ำร้อนหรือกรดฟอสฟอริกเพียงอย่างเดียว อาจเป็นเพราะฟอสฟอริปิดในน้ำมัน ปาล์มมีทั้งแบบสามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำและไม่สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำซึ่งส่วนที่สามารถไฮเดรตด้วยน้ำนี้ จะสามารถกำจัดออกได้หลังจากทำปฏิกิริยากับน้ำร้อน หลังการกำจัดในขั้นตอนนี้ฟอสฟอริปิดชนิดที่ไม่ สามารถไฮเดรตได้ด้วยน้ำจะยังคงเหลืออยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ เมื่อเติมกรดฟอสฟอริปิดเข้าไปทำปฏิกิริยากับฟอสฟอริปิดส่วนนี้ จึงทำให้สามารถกำจัดฟอสฟอริปิดออกได้มากขึ้น เมื่อทดลองเปลี่ยนลำดับการเติม สารเป็นกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนแล้วตามด้วยน้ำร้อนได้ผลดังแสดงในตาราง 4-3 ซึ่งพบว่า มีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีการการใช้ฟอสฟอริกอย่างเดียวเช่นกัน แต่การกำจัดยางเหนียว ด้วยน้ำก่อนให้ผลที่ดีกว่า ผลการศึกษาในขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่าการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.25 ให้ผลการกำจัดยางเหนียวได้ดีที่สุด

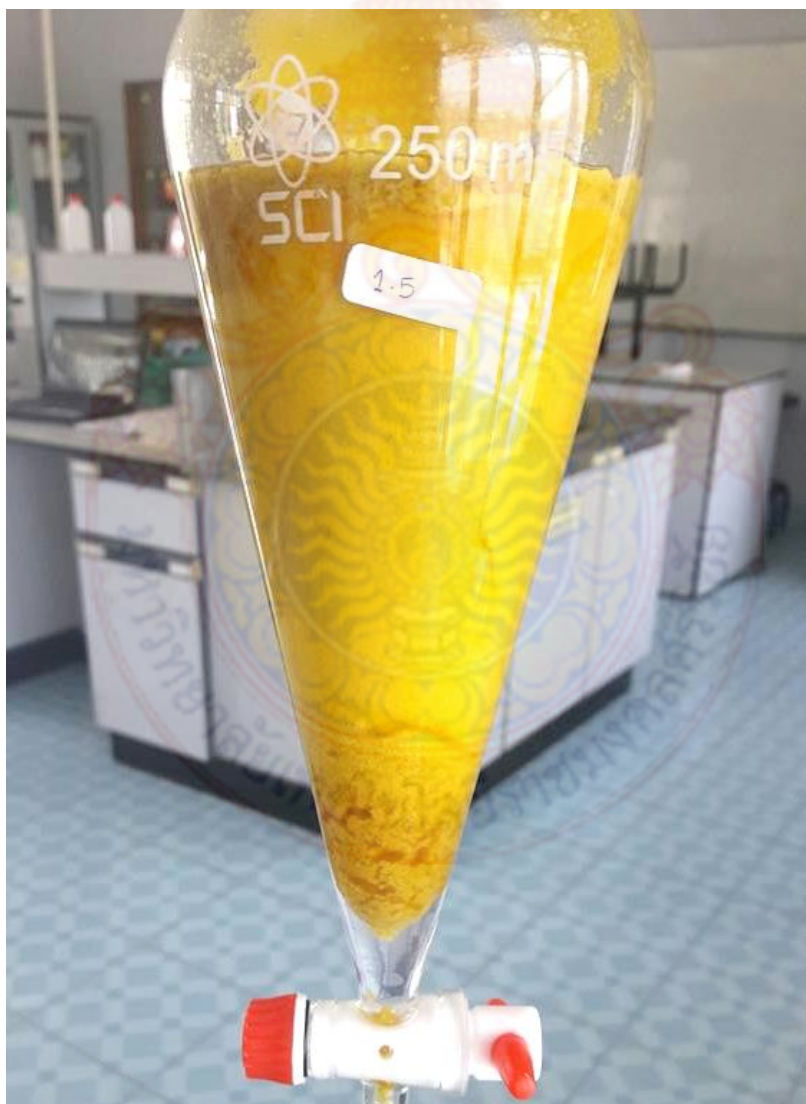
การกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนมีประสิทธิภาพในการกำจัดยางเหนียวร้อยละ 60 เมื่อใช้ความ เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที การกำจัดยางเหนียว ด้วยกรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพในการกำจัดยางเหนียวสูงสุดเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 นาที หรือ ใช้กรดฟอสฟอริกความ เข้มข้นร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 นาที แต่วิธีการที่มี ประสิทธิภาพสูงสุด คือ การกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก น้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 หรือ 30 นาที ให้ผลการกำจัดยางเหนียวได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4-3 ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้น ต่างๆ แล้วตามด้วยน้ำร้อนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

ความเข้มข้นของ กรดฟอสฟอริก (%)	ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว (mg/kg)			
	กำจัดด้วยฟอสฟอริก 15 นาที		กำจัดด้วยฟอสฟอริก 30 นาที	
	น้ำร้อน 15 นาที	น้ำร้อน 30 นาที	น้ำร้อน 15 นาที	น้ำร้อน 30 นาที
0.00	182	170	160	171
0.25	242	180	168	222
0.50	176	215	183	224
0.75	205	220	240	184
1.00	175	225	218	243

4.2 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณยางเหนียวแตกต่างกันคือ น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว พบว่าไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรงจากน้ำมันปาล์มดิบ หากนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นไตรกลีเซอไรด์เริ่มต้นเพื่อผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าในสถานะที่ทำการศึกษาก็ได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลแข็งเป็นเนื้อเดียวไม่แยกชั้น ดังรูปที่ 4-17 คาดว่าอาจเกิดปฏิกิริยาเป็นแอลกอฮอล์ของกรดไขมันและสบู่ ซึ่งไม่ใช่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน การที่ได้ผลเช่นนี้น่าจะเป็นผลมาจากมีฟอสฟอлипิดซึ่งเป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ปนอยู่ในระบบ ทำให้ไม่เลือกเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล

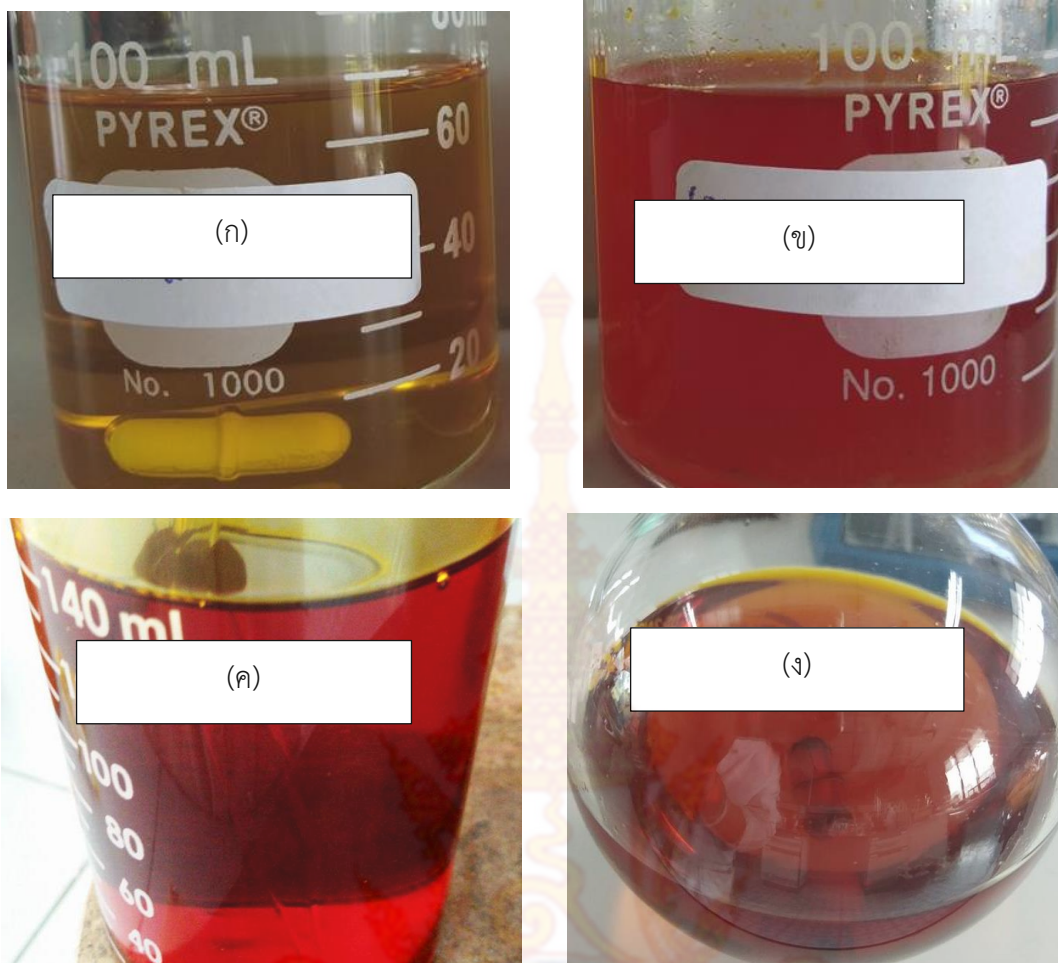


รูปที่ 4-17 น้ำมันปาล์มดิบที่ยังไม่ผ่านการกำจัดยางเหนียวไม่สามารถนำมาผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรง

การนำน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวมาทดลองผลิตไบโอดีเซล ได้ผลดังรูป 4-18 ซึ่งมีลักษณะของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ดังแสดงในรูปที่ 4-19 พบว่าตัวอย่างน้ำมันดิบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกันให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4-4 เมื่อใช้น้ำมันที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำลงจะได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น ซึ่งสังเกตเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4-20 โดยตัวอย่างที่มีปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 98 mg/kg สามารถผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ผลผลิตที่มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99 นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ ของน้ำมันก็มีการศึกษาเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำมันที่มีปริมาณยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบช่วง 98-158 mg/kg ไม่เห็นความแตกต่างของสมบัติการไหลในรูปของความหนืด และค่าปริมาณกรดไขมันอิสระในรูป %FFA



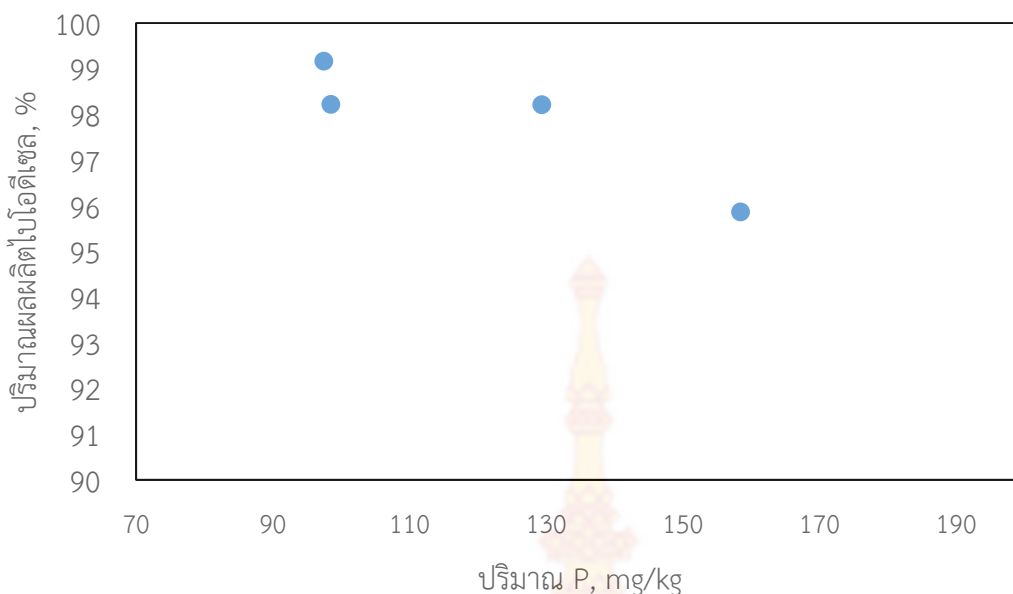
รูปที่ 4-18 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว



รูปที่ 4-19 ลักษณะของไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วย (ก) น้ำ 1 %wt 15 นาที (ข) น้ำ 1%wt 15 นาที แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที (ค) กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที และ (ง) กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที ตามด้วยน้ำ 1%wt 15 นาที

ตารางที่ 4-4 ผลผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวแตกต่างกัน

การกำจัดยางเหนียว	สมบัติของน้ำมัน			สมบัติของไบโอดีเซล				
	P, mg/kg	ความหนืด	FFA, %	Yield, %	P, mg/kg	ความหนืด, cSt	FFA, %	จุดวาบไฟ, °C
น้ำ 1 %wt 15 นาที	129.4	42.66	5.14	98.22	157.4	4.81	0.67	115
น้ำ 1%wt 15 นาที , ฟอสฟอริก 0.25 %wt 15 นาที	97.5	43.57	5.35	99.16	141.8	4.96	0.67	120
กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที	158.5	43.54	5.39	95.86	156.1	5.34	0.60	110
กรดฟอสฟอริก 0.5%wt 15 นาที, น้ำ 1%wt 15 นาที	98.5	44.91	5.10	98.21	172.1	5.01	0.59	110



รูปที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณยางเหนียวในน้ำมันดิบกับปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลที่ได้

เมื่อพิจารณาไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวแล้วเหลือปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันแตกต่างกันดังตารางที่ 4-4 พบว่า หลังผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแล้วปริมาณฟอสฟอรัสที่อยู่ในไบโอดีเซลไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสิ่งที่ได้จากการผลิตเทียบกับน้ำมันเริ่มต้นพบว่าความหนืดลดลงปริมาณ 10 เท่า โดยมีการกำหนดค่ามาตรฐานไว้ระหว่าง 3.5-5.0 ซึ่งพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีความหนืดค่อนข้างสูง และตัวอย่างที่ผลิตจากน้ำมันที่กำจัดยางเหนียวที่ 80 องศาเซลเซียสด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 15 นาที ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสเหลืออยู่ในน้ำมันดิบเริ่มต้นสูงที่สุด มีความหนืดเกินมาตรฐาน สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยที่สุดคือมีปริมาณประมาณร้อยละ 96 เท่านั้น การที่ผลิตภัณ์ไบโอดีเซลมีความหนืดน้อยกว่าสารตั้งต้นนั้นเป็นไปตามหลักการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ต้องการให้ของเหลวมีความสามารถในการไหลมากกว่าเดิม การที่ความหนืดลดลงนั้นเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันแต่ละโมเลกุลที่ทำปฏิกิริยากับเมทานอลแล้วเกิดเป็นไบโอดีเซล 3 โมเลกุล ที่มีขนาดประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำมันเริ่มต้นทำให้ไบโอดีเซลสามารถใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่ต้องมีระบบการอุ่น

เมื่อพิจารณาความเป็นกรดของเชื้อเพลิงที่ได้ พบว่ามีค่าลดลงจากน้ำมันตั้งต้นเหลือประมาณ 1 ใน 10 ของน้ำมันเริ่มต้นเช่นกัน แต่ค่าความเป็นกรดที่ได้ยังมีค่าเกินมาตรฐาน โดยมาตรฐานเชื้อเพลิงกำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ซึ่งต้องมีการปรับปรุง อาจต้องทำการลดปริมาณกรดในน้ำมันเริ่มต้นก่อนหรืออาจทำการลดความเป็นกรดของไบโอดีเซลที่ผลิตได้แก่น้ำไปใช้จริง นอกจากนี้ยังมีการวัดสมบัติความไวไฟของเชื้อเพลิงโดยการวัดจุดวาบไฟซึ่งกำหนดไว้ว่าต้องมีค่าเกิน 120 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีจุดวาบไฟต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย โดยมีตัวอย่างไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณยางเหนียวต่ำสุดซึ่งส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดและมีค่าจุดวาบไฟเป็นไปตามมาตรฐาน ส่วนตัวอย่างอื่นจะมีจุดวาบไฟต่ำกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย คือ อยู่ระหว่าง 110-115 องศาเซลเซียส

5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เมื่อทำการวัดปริมาณยางเหนียวในน้ำมันปาล์มดิบก่อนผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียวพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ที่ 79.10 mg/Kg ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง จากนั้นนำน้ำมันปาล์มดิบดังกล่าวมาทำการกำจัดยางเหนียวโดยผสมกับน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 50 °C ด้วยปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, และ 5.0 %wt ทำการกวนเป็นระยะเวลา 30 นาที เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวมาวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าน้ำมันที่ไม่ผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียว พบว่าการใช้น้ำร้อน 2.0 ถึง 5.0 %wt สามารถกำจัดยางเหนียวได้ปริมาณใกล้เคียงกัน ที่ประมาณร้อยละ 20 คาดว่าในน้ำมันปาล์มดิบมีฟอสโฟลิปิดที่สามารถไฮโดรไลซ์ด้วยน้ำได้อยู่ปริมาณจำกัด และภายใต้อุณหภูมิ 50 °C จะมีสมดุลของการเกิดไฮโดรไลซิสของฟอสโฟลิปิดที่เกิดไฮโดรไลซิสด้วยน้ำอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 เท่านั้น

เมื่อนำน้ำมันปาล์มดิบมาให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 80 °C แล้วผสมกับกรดฟอสฟอริกในปริมาณร้อยละ 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 หรือ 2.00 % ทำการกวนผสมที่อุณหภูมิคงที่เป็นระยะเวลา 15 นาที จากนั้นนำมารองแยกยางเหนียวสีดำที่เกิดขึ้น นำน้ำมันที่ได้ผสมน้ำอุ่นแล้ววางไว้ให้แยกชั้นเพื่อกำจัดกรดฟอสฟอริกที่ค้างเหลือน้ำมันออก พบว่าการกรองเอายางเหนียวที่เกิดขึ้นออกจากกระบวนการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกนั้นไม่สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันดิบได้ แต่กลับมีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบเพิ่มขึ้น ฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากกรดฟอสฟอริกที่เติมลงไปแล้วผสมปนอยู่ในน้ำมัน การล้างด้วยน้ำโดยการผสมน้ำอุ่นลงไป ในน้ำมันแล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้นน้ำออกจากน้ำมัน ฟอสฟอรัสจะละลายไปในส่วนของน้ำ เมื่อทำการล้างน้ำพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันจะเหลือน้อยลงตามจำนวนครั้งของการล้าง ผลการล้างซ้ำตั้งแต่รอบที่ 5 เป็นต้นไปจะมีปริมาณฟอสฟอรัส

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดยางเหนียวน่าจะเป็นปฏิกิริยาแข่งขันระหว่างการเกิดปฏิกิริยาของฟอสโฟลิปิดในน้ำมันกับกรดฟอสฟอริกและ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอสฟอริกกับไตรกลีเซอไรด์ของน้ำมันเกิดเป็นฟอสโฟลิปิดที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในน้ำมัน โดยปฏิกิริยาการกำจัดยางเหนียวเกิดได้อย่างรวดเร็วในตอนต้น สำหรับการกำจัดยางเหนียวที่อุณหภูมิ 80°C กรณีใช้กรดปริมาณน้อยเพียง 0.25%wt จะถึงสมดุลหลัง 30 นาที แต่ไม่ถึง 45 นาที กรณีที่ใช้กรดฟอสฟอริกตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ขึ้นไป จะถึงสมดุลในระยะเวลาไม่ถึง 30 นาที ซึ่งในที่นี้ได้ทำการศึกษาที่ระยะเวลา 15 นาที และพบว่าควรใช้กรดเข้มข้นไม่เกิน 1.00%

การศึกษากำจัดยางเหนียวด้วยน้ำและกรดฟอสฟอริกร่วมกันพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดยางเหนียวด้วยน้ำ 1%wt แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่าทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันปาล์มดิบลดลงได้มากกว่าการใช้น้ำหรือฟอสฟอริกเพียงอย่างเดียว การกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกก่อนแล้วตามด้วยน้ำร้อนมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดี การการใช้ฟอสฟอริกอย่างเดียวเช่นกัน ผลการศึกษาในขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่าการกำจัดยางเหนียวด้วยน้ำร้อนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก แล้วตามด้วยกรดฟอสฟอริกร้อยละ 0.25 ให้ผลการกำจัดยางเหนียวได้ดีที่สุด สภาวะที่ดีที่สุดในการกำจัดยางเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกมีประสิทธิภาพในการกำจัดยางเหนียวสูงสุดเมื่อใช้กรด

ฟอสฟอริกเข้มข้น 0.75 %wt ที่อุณหภูมิ 80°C ระยะเวลา 15 นาที หรือ ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้น 0.25 %wt ที่อุณหภูมิ 80°C ระยะเวลา 30 นาที

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองผลิตไบโอดีเซลด้วยน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณยางเหนียวแตกต่างกัน คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียว พบว่าไม่สามารถผลิตไบโอดีเซลได้โดยตรงจากน้ำมันปาล์มดิบ หากนำน้ำมันปาล์มดิบที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นไตรกลีเซอไรด์เริ่มต้นเพื่อผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน พบว่าในสภาวะที่ทำการศึกษาค่าจะได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลแข็งเป็นเนื้อเดียวไม่แยกชั้น คาดว่าอาจเกิดปฏิกิริยาเป็นแอลกอฮอล์ของกรดไขมันและสบู่ ซึ่งไม่ใช่เมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน การที่ได้ผลเช่นนี้น่าจะเป็นผลมาจากมีฟอสฟอริปิดซึ่งเป็นอิมัลซิไฟอิงเอเจนต์ปนอยู่ในระบบ ทำให้ไม่เลือกเกิดผลิตภัณฑ์เป็นไบโอดีเซล

เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวมากทดลองผลิตไบโอดีเซล พบว่าตัวอย่างน้ำมันดิบที่มีปริมาณฟอสฟอรัสแตกต่างกันให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลแตกต่างกัน เมื่อใช้น้ำมันที่มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำลงจะได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น ไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีคุณสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน



เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร การส่งเสริมพืชไร่ กระทรวงเกษตร. **ปาล์มน้ำมัน**. [ม.ป.พ.] กรมส่งเสริมการเกษตร. 2541.

ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2547. **ปาล์มน้ำมัน: พืชเศรษฐกิจที่น่าจับตามอง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.manager.co.th/Business/ViewNews.aspx?NewsID=9470000093275> (25 มิถุนายน 2549).

สุदारัตน์ เตชะศรีประเสริฐ. ภาวะเศรษฐกิจการเกษตร ประจำเดือนกันยายน 2542: **ปาล์มน้ำมัน**. ว. **ข่าวสารเศรษฐกิจการเกษตร**. ตุลาคม 2541; 45 (515): 30-31.

สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2558. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/download/document_tendency/journalofecon2558.pdf (เข้าถึงเมื่อ 3 สิงหาคม 2558).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. **ปาล์มน้ำมัน: การผลิตปาล์มน้ำมันปี 2554-2555**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=6522&filename=index (4 กรกฎาคม 2555).

Alhassan, F.H., Yunus, R., Rashid, U., Sirat, K., Islam, A., Lee, H.V., Taufiq-Yap, Y. H. Production of biodiesel from mixed waste vegetable oils using Ferric hydrogen sulphate as an effective reusable heterogeneous solid acid catalyst. *Applied Catalysis A: General* 2013, 456: 182– 187.

Arasiola, E.F., Ojumu, T.V., Oyekola, O.O., Madzimbamuto, T.F., Ikhi-Omoregbe, D.I.O. A review of current technology for biodiesel production: State of the art. *Biomass and Bioenergy* 2014, 61: 276-297.

ASTM standards, **Annual Book of ASTM Standards: D2652-94**; 1995.

Baoutian, S., Aroua, M.K., Ramann, A.A.A., Sulaiman, N.M.N. Potassium hydroxide catalyst supported on palm shell activated carbon for transesterification of palm oil. *Fuel Processing Technology* 2010;91:1378-85.

Boro, J., Konwar, L.J., Deka, D. Transesterification of non edible feedstock with lithium incorporated egg shell derived CaO for biodiesel production. *Fuel Processing Technology* 122 (2014) 72-78.

Borges, M.E., Diaz, L., Alvarez-Galvan, M.C., Brito, A. High performance heterogeneous catalyst for biodiesel production from vegetal and waste oil at low temperature. *Applied Catalysis B: Environmental* 102 (2011) 310-315.

Diosady, L.L., Sleggs, P., Kaji, T. Chemical degumming of canola oils, *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 59 (1982) 313-316.

Dunn, R.O., Knothe, G. Oil processing and industrial oil products session, *J. Oleo Sci.* 50 (2001) 415-426.

Engelmann, J.I., Ramos, L.P., Crexi, V.T., Morais, M.M., Degumming and neutralization of rice bran oil, *J. Food Process Eng.* 70 (2017).

Fan, X., Burton, R., Austric, G. Conversion of degummed soybean oil biodiesel: optimization of degumming methods and evaluation of fuel properties. *Int. J. Green Energy* 7 (2010) 593-599.

Gutierrez, L.F., Sanchez, O.J., Cardona, C.A. Process integration possibilities for biodiesel production from palm oil using ethanol obtained from lignocellulosic residues of oil palm industry. *Bioresource Technology* 2009, 100: 1227-1237.

Hui, Y.H. **Edible Oil and Fat Products: Processing Technology**. Bailey's Industrial Oil and Fats Products, 5th ed. New York: John Wiley & Son, Inc; 1996.

ICIS Chemical Business, 18 Oct 2010, (Website: <http://icischemicalbusiness.com>) & The Star, 5&6 Oct 2010, (Website: <http://www.thestar.com.my>)

Indira, T.N., Hemavathy, J., Khatoon, S., Kiishna, A.G.G., Bhattacharya, S. Water degumming of rice bran oil: a response surface approach. *J. of Food Eng.* 43 (2000) 83-90.

Jose, D.F.M., Raj, R.E., Prasad, B.D., Kennedy, Z.R., Ibrahim, A.M. A Multi-variant approach to optimize process parameters for biodiesel extraction from rubber seed oil. *Applied Energy* 2011, 88: 2056-2063.

Konwar, L.J., Boro, J., Deka, D. Review on latest developments in biodiesel production using carbon-based catalysts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29 (2014) 546-564.

Liu, K.-T., Gao, S., Chung, T.-W., Huang, C., Lin, Y.-S. Effect of process conditions on the removal of phospholipids from *Jatropha curcas* oil during the degumming process, *Chem. Eng. Res. Des.* 90 (2012) 138101386.

Marrakchi, F., Kriaa, K., Hadrich, B., Kechaou, N., Experimental investigation of processing parameters and effects of degumming, neutralization and bleaching on lampante virgin olive oil's quality, *Food Bioprod. Process.* 94 (2015) 124-135.

McDonnell, K.P., Ward, S.M., Timoney, D.J. Hot Water Degummed Rapeseed Oil as a Fuel for Diesel Engines. *J. agric. Engng Res.* 60 (1995) 6-14.

MPOB (2005). MPOB Test Methods. Palm oil research institute of Malaysia (PORIM), (1995). PORIM Test Methods. Vol. 1. Palm oil research institute of Malaysia, Malaysia

Ochoa, N., Pagliero, C., Marchese, J., Mrttea, M. Ultrafiltration of vegetable oils Degumming by polymeric membranes, 22-23 (2001) 417-422.

Paisan, S., Chetpattananondh, P., Chongkhong, S. Assessment of water degummed and acid degumming of mixed algal oil. *J. Env.Chem.Eng.*, 5(2017) 5115-5123.

Rodriguez-Reinoso, F., Molina-Sabio, M. **Textural and Chemical Characterization of Microporous Carbons**. *Advances in Colloid and Interface Science.* 1998; 76-77: 271-294.

Samuel, D.F., Osman, M.A. **Chemistry of Water Treatment**. Boston: Butterworth Publisher; 1998.

Simasatitkul, L., Gani, R., Arpornwichanop, A. Optimal design of biodiesel production process from waste cooking palm oil. *Procedia Engineering* 2012; 42: 1292 – 1301.

Sumathi, S., Chai, S.P., and Mohamed, A.R., Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. 2008. 12:2404-2421.

Tariq, M., Ali, S., and Khalid, N. Activity of homogeneous and heterogeneous catalysts, spectroscopic and chromatographic characterization of biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012, 16:6303–6316

Tim, S. 2006. The roundtable on sustainable palm oil, purpose and progress, symposium on sustainable development. London, UK; Aarhuskarlhamn; 2006. 18, May.

Thomipoulos, C., Tzia, C., The effect of degumming by hydration on the purification of high acidity solvent extracted olive oil, *Grasas Y Accette.* 44 (1993) 259-262.

Yan, S., Salley, S.O., Simon Ng, K.Y. Simultaneous transesterification and esterification of unrefined or waste oils over ZnO-La₂O₃ catalysts. *Applied Catalysis A: General* 2009, 353: 203–212.

Yujaroen, D., Goto, M., Sasaki, M., Shotipruk, A. Esterification of palm fatty acid distillate (PFAD) in supercritical methanol: Effect of hydrolysis on reaction reactivity. *Fuel* 2009, 88: 2011–2016.

Yusup, S.l., Khan, M.A. Base catalyzed transesterification of acid treated vegetable oil blend for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy* 2010; 34: 1500-1504.

Zufarov, O., Schmidt, S., Sekretar, S. Degumming of rapeseed and sunflower oils. *Act. Chem. Slov.*, 1, 1 (2008) 321-328.

Zulkunain, M., Lai, O.M., Latip, R.A., Nrhdi, I.A., Ling, T.C., Tan, P.T. The effect of physical refining on the formatyopn of 3-monochloropropane-1,2-diol esters in relation to palm oil minor components, *Food chem.* 135 (2012) 799-805.



ภาคผนวก

ผลงานวิชาการสืบเนื่องจากงานวิจัยในหัวข้อ “ผลของการกำจัดยางเหนียวต่อการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ” ได้ดำเนินการเผยแพร่แล้วจำนวน 1 เรื่อง ได้แก่

Boonruen Sunpetch*, and Oangkana Champanon. The effect of phosphoric acid concentration in crude oil pretreatment process on the phosphorus content of crude palm oil. Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference 2018 (PACCON2018), The 60th Anniversary of His Majesty the King's Assertion of Throne International Convention Center, Hat Yai, Songkhla Thailand, 7th – 9th February 2018, pp. MN334-MN338.



CHEMISTRY TOWARD A SUSTAINABLE FUTURE

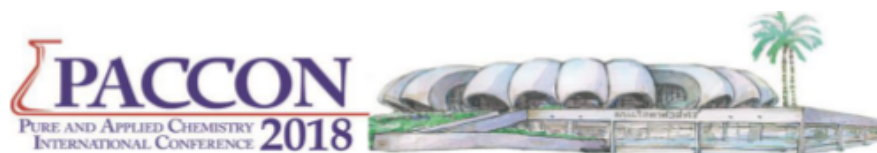
Proceedings

February 7-9, 2018

The 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession
to the Throne International Convention Center,
Hat Yai, Songkhla, Thailand



PACCON
PURE AND APPLIED CHEMISTRY
INTERNATIONAL CONFERENCE 2018



The effect of phosphoric acid concentration in crude oil pretreatment process on the phosphorus content of crude palm oil

Boonruen Sunpetch*, Oangkana Champanon

Department of Science, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Sri Thammarat Saiyai Campus, Nakhon Sri Thammarat 80110, Thailand

*E-mail: b_sunpetch@hotmail.com

Abstract:

Non-triglyceride contaminant in vegetable oil is the big problem in oil refining process, they have to remove from the crude oil in the first step. Phospholipid, the key contaminant in crude palm oil (CPO), can be determined in terms of phosphorus (P) content and usually treated with phosphoric acid. Even though the phosphoric acid is get rid phospholipid in CPO but also increased the P in palm oil. However, the optimal concentration of phosphoric in oil degumming process is still unknown. The objective of this work is to elucidate the effect of phosphoric acid concentration in CPO preparation. P content of 352 ppm was found in crude palm oil with UV-Vis spectrometry. The amount of content changed in the mixture of 0-1%wt phosphoric acid in CPO for 30 minutes at the temperature range of 85 ± 5 °C. At the proper degumming process, P content decreased by over 70%. It was found that the higher the concentration of hot water was used, the lower P content in CPO became. However, the P content increased when treated with the concentration of phosphoric concentration higher than 0.25%wt. The lower level of P content was also found when the combination the degumming process of water degumming and acid degumming together. The optimum condition for CPO degumming is degumming with 1%wt hot water following with phosphoric acid for 15-30 minutes at 80 ± 5 °C. The results is also point out that, using higher phosphoric concentration in CPO degumming process will increase the P content in palm oil product.

1. Introduction

Both animal and vegetable oil are contaminated with a number of impurities. Most of them are effect on oil further processing and oil product qualities. Gums are phospholipid contaminants which one of fatty acid in triglyceride are substituted by a phosphatide such as phosphotidyl choline, phosphotidyl inositol, phosphotidyl ethanoamine and phosphatidic acid etc. Phospholipid which contains phosphotidyl ethanoamine is patial hydratable and phosphatidic acid is non-hydratable phospholipid (NHPL), while the other two are completely hydratable phospholipid (HPL).^{1,2} HPL can absorb water and form insoluble heavy particle, prompt to settle out from oil. Hydratable gums can eliminated by adding hot water into the oil at temperature of 70-80 °C and stirred for 10-15 minutes.

Acid degumming or enzymatic degumming have been applied to remove the NHPL. There are many types of degumming process such as dry degumming, water degumming, acid degumming, enzymatic degumming, EDTA degumming, and membrane degumming processes.¹⁻⁴ Steam and phosphoric acid are normally use as degumming agent in vegetable oil industry.

Crude palm oil (CPO) is one of the most important vegetable oil in world market.⁵ Flying oil, consuming product and fuel application are the crucial final products of palm oil. The contamination of dirt and minor component have to remove from CPO in the first place because there are disturb in many CPO refining process. So that, degumming process is the important refining step in CPO pretreatment before using as food and/or raw material for oleo chemical.

The main phospholipid composition of palm oil are phosphatidyl choline, phosphatidyl ethanoamine, phosphatidyl inositol, phosphatidyl glycerol, phosphatidic acid, etc.⁶⁻⁹ Phosphoric acid is normally used for any type of vegetable oil, including palm oil, because of lower unit cost and easier handling.

The separated gums are also purified and sold as value added product for vegetable oil manufacture. However, the effect of degumming agent amount on degumming process are not available. This studied was determine the effect of degumming agent amount on phospholipid content in CPO. The change of phosphorus content after degum with hot water (for HPL) and phosphoric acid (for NHPL) were studied in this work. Moreover, free fatty acid (FFA) of crude palm oil is effect on the production cost and concerning with purification process. So that, the %FFA of degummed crude palm oil was also studied in this work.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

Crude palm oil (CPO) was received from Kanjanadit palm oil industry. Magnesium hydroxyl carbonat, hydrochloric acid, sodium hydroxide, sulfuric acid, p-methyl-aminophenol sulfate, sodium sulfite heptahydrate, sodium metabisulfite, ammonium molybdate tetra hydrate sodium acetate tri-hydrate, and potassium dihydrogen phosphate were used for determination of phosphorous content.

2.2 Crude palm oil degumming

Heating 100 g of CPO to 85 ± 5 °C and hold at this temperature for heat equilibrium at least 15 min. Added 0.00-2.00%v/w of degumming agent into the hot oil and stirred with magnetic bar for 15, 30, 45, and 60 min. Insoluble gums is separated from oil product by specific density in a separating funnel. Let gums settling down for 30 min and then drained it out. Washed the remaining oil with warm water (60 °C) for 4 times. Finally, heat the received oil again to eliminate the contaminated water.

For synergetic effect was test by eliminated the remaining phospholipid with different chemical. The oil that degummed with hot water was further treatment with phosphoric. While the oil that degummed with phosphoric acid was following with hot water treatment for specific concentration in specific time. The degummed oil then heat at 110 °C to remove all water contamination before further characterization.

2.3 Palm oil characterizations

Degummed crude palm oil samples were took the free fatty acid content (%FFA) by titration with potassium hydroxide solution. The exact concentration of KOH are standardized by KHP. Gums in form of phosphorous content were determined by following Ethiopian Standard (ES ISO 10540-1:2012).^{10,11} The phosphorus content in oil sample is specified by carbonized oil with magnesium hydroxycarbonate at 350 °C for 2 h then heated to 550 °C and held at this temperature for 2 h. Dissolve the residue from ashing procedure in HCl acid and neutralize the content by adding NaOH solution. Add sulfate/molybdate reagent and mix before keep in a dark place 20 min. Fill sodium acetate solution until the volume of the mixture reach 15 mL. Measure the absorbance of the solution against the blank at 720 nm. Phosphorus contents were calculated using absorbance and calibration factor which prepare from standard phosphate solution.

3. Results and Discussion

CPO degumming with different chemical and different concentration were tested. The degummed oil properties are as following.

3.1 Effect of phosphoric concentration on phosphorus content of degummed oil

Gum content of CPO in the form of phosphorus concentration were determined for CPO and degummed oil. Phosphorus concentration in CPO in this study are vary from 84 mg/kg to be 352 mg/kg. Phosphorus concentrations were concern the phospholipid in oil sample which decreased

in degummed oil. The phosphorus concentration of palm oil degumming with phosphoric acid in different concentration for 15-45 min were shown in Table 1. The phosphorus content in crude palm oil without any degumming process was 352 mg/kg. It was found that, the phosphorus content of palm oil heating at 85 ± 5 °C for various time without acid were lower than CPO and decreasing with reaction time. Gum was removed in form of black solid settle out from oil like Figure 1.

Table 1. Phosphorus content in crude palm oil degummed with phosphoric acid

Phosphoric concentration (%)	Phosphorus content in degummed oil (mg/kg)			
	15 min	30 min	45 min	60 min
0.00	258	263	195	178
0.25	256	250	236	263
0.50	288	304	267	285
0.75	290	327	277	295
1.00	344	328	325	304

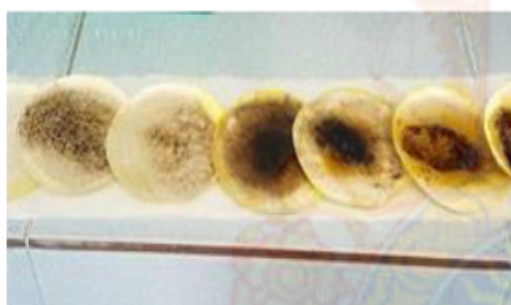


Figure 1. Black gummed removed from CPO by using degumming agent

Phosphoric acid addition can reduce the phosphorus content of CPO. However, the efficiency of phosphoric degumming are decrease when increasing the acid concentration. Since gums are phospholipid which hydratable and nonhydratable. The settle gummed after heat without phosphoric acid should be hydratable gummed reacted with moisture contained in CPO. When using phosphoric acid, NHPL were also remove but the total phosphorus content in degummed sample is higher than the sample without phosphoric. May be the accesses

phosphorus from acid contaminated in degummed oil made phosphorus concentration increase with phosphoric concentration. The phosphorus concentration of oil that degummed longer than 45 min are almost constant and increase with the phosphoric acid concentration. The results suggest that, gums in CPO are mainly HPL and using phosphoric acid showed reverse effect on phosphorus concentration in crude palm oil. So that, phosphoric acid are not recommended for degumming in CPO.

3.2 Effect of hot water concentration on phosphorus content of degummed oil

The effect of water in CPO degumming were determined by using 1.00-2.00%wt of hot water addition into oil at 85 ± 5 °C. The change of phosphorus content showed in Table 2. Addition of hot water can decreased phosphorus content in CPO. These results are also supported the hypothesis that phospholipid in CPO is HPL.

Table 2. Phosphorus content in crude palm oil degummed with hot water

Water concentration (%)	Phosphorus content in degummed oil (mg/kg)		
	30 min	45 min	60 min
0.00	219	253	201
1.00	206	227	148
2.00	178	171	144

3.3 The free fatty acid content of the degummed oil

Phosphoric is the most often use chemical in vegetable oil industry because of the efficiency and price. However, increasing phosphoric concentration in degumming process is increase FFA content in crude palm oil. Table 3 shows the increasing of FFA content of CPO which degummed with higher phosphoric acid concentration at 15 min. Since, the main gums composition in CPO are HPL which can eliminated by water. Using higher hot water concentration can removed more gum. However, water can also effect other properties of degummed palm oil. One of

the most important characteristic is FFA content. FFA content of water degummed palm oil showing in Table 4. The CPO sample which degummed with hot water also contains high FFA. The FFA properties of degummed oil have to be improve before use in another process.

Table 3. FFA of crude palm oil after degummed with phosphoric acid

Phosphoric concentration (%)	FFA of degumming at different time (%)		
	15 min	30 min	45 min
0.00	4.82	4.52	-
0.25	4.80	5.26	-
0.50	4.80	5.04	-
0.75	4.97	5.23	-
1.00	4.94	5.30	5.31

Table 4. FFA of crude palm oil after degummed with hot water

Water concentration (%)	FFA of degumming at different time (%)		
	30 min	45 min	60 min
0.00	5.03	5.08	5.01
1.00	5.41	5.41	5.16
2.00	5.12	5.62	5.09

3.4 Effect of combination of hot water and phosphoric acid on phosphorus content of degummed oil

Phospholipid composition in CPO are HPL and NHPL which can eliminated by water and phosphoric acid. The effect of chemical sequence on phosphorus content also studied. Phosphorus concentration in oil degummed with hot water 1%wt following with phosphoric acid (PA) showing in Table 5. The results show that degumming with hot water following with PA can eliminate grater phospholipid than using single degumming agent. Since the phospholipid in CPO compose of HPL which and react with water and NHPL which can react with PA. The phosphorus content in degummed oil with phosphoric acid following with hot water in Table 6 also better than in oil sample which degummed with phosphoric acid in Table 1. The phosphorus results

suggest that degum with 1.00%wt hot water following with 0.25% phosphoric acid is the best condition for CPO degumming process.

Table 5. Phosphorus content in crude palm oil degummed with 1.00%wt hot water and following with phosphoric acid (PA)

Phosphoric Concentration (%)	Phosphorus content in degummed oil (mg/kg)			
	H ₂ O 15 min		H ₂ O 30 min	
	PA 15 Min	PA 30 min	PA 15 min	PA 30 min
0.00	173	90	116	111
0.25	149	134	101	97
0.50	191	110	115	197
0.75	218	100	123	139
1.00	194	141	107	146

Table 6. Phosphorus content in crude palm oil degummed with phosphoric acid (PA) and following with 1%wt hot water

Phosphoric Concentration (%)	Phosphorus content in degummed oil (mg/kg)			
	phosphoric 15 min		phosphoric 30 min	
	H ₂ O 15 min	H ₂ O 30 min	H ₂ O 15 min	H ₂ O 30 min
0.00	182	170	160	171
0.25	242	180	168	222
0.50	176	215	183	224
0.75	205	220	240	184
1.00	175	225	218	243

4. Conclusion

Using phosphoric acid as degumming agent for crude palm oil can improved only small value of phosphorus concentration. Hot water is better degumming agent than phosphoric acid because can eliminated more phospholipid than using phosphoric acid. Since phospholipid in CPO are HPL and NHPL, the combination of water and acid is recommend for CPO degumming process. The synergy of hot water and phosphoric acid degumming show the most phosphorus decreasing in palm oil. The oil from hot water degummed also have high FFA

content like phosphoric acid degumming. The best degumming process in this studies is degumming with 1.00%wt hot water following with 0.25%wt phosphoric acid.

Acknowledgements

Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology
Srivijaya

References

1. Panpipat, W.; Chaijan, M. *Polar Lipids: Biology, Chemistry, and Technology*, Elsevier, 2015.
2. Paisan, S.; Chetpattananondh, P.; Chongkhong, S. *J. Env. Chem. Eng.*, **2017**, *5*, 5115-5123.
3. Yang, B.; Zhou, R.; Yang, J. G.; Wang, Y. H.; Wang, W. F. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **2008**, *85*, 421-425.
4. Araujo, F. D.; Araujo, I. C.; Costa, I. C. G.; Moura, C. V. R.; Chaves, M. H.; Araujo, E. C. E. *Renew. Energy* **2014**, *71*, 495-501.
5. Office of global analysis, foreign agricultural service/USDA, January, 2017.
6. Gold, I. L.; Oseni, N. T.; Imosi, O. B. *Afr. J. Biochem. Res.* **2016**, *10* (4), 25-29.
7. Gomes, M. C. S.; Arroyo, P. A.; Pereira, N. C. *J. Membrane Sci.* **2011**, *378*, 453-461.
8. Szydłowska-Czerniak, A.; Szlyk, E. *Food Chem.* **2003**, *81*, 613-619.
9. Tyagi, K.; Ansari, M. A.; Tyagi, S.; Tyagi, A. *Adv. App. Sci. Res.* **2012**, *3*, 1435-1439.
10. Ethiopian standard ES ISO 10540-1:2012, 1st ed. Animal and vegetable fats and oils determination of phosphorus content. Part1: Colorimetric method. Ethiopian standards agency.
11. Zufarov, O.; Schmidt, S.; Sekretár, S. *Acta Chimica Slov.* **2008**, *1*, 321 – 328.

